

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Patent Application of:

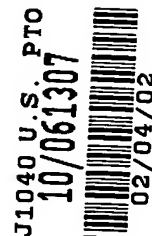
Hiroshi NAGAEDA, et al.

Application No.:

Group Art Unit:

Filed: February 1, 2002

Examiner:



For: VARIABLE POLARIZATION PLANE ROTATOR AND OPTICAL DEVICE USING SAME

**SUBMISSION OF CERTIFIED COPY OF PRIOR FOREIGN
APPLICATION IN ACCORDANCE
WITH THE REQUIREMENTS OF 37 C.F.R. § 1.55**

Assistant Commissioner for Patents
Washington, D.C. 20231

Sir:

In accordance with the provisions of 37 C.F.R. § 1.55, the applicant(s) submit(s) herewith a certified copy of the following foreign application:

Japanese Patent Application No. 2001-314950

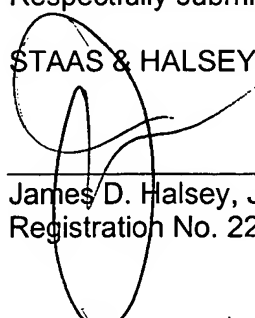
Filed: October 12, 2001

It is respectfully requested that the applicant(s) be given the benefit of the foreign filing date(s) as evidenced by the certified papers attached hereto, in accordance with the requirements of 35 U.S.C. § 119.

Respectfully submitted,

STAAS & HALSEY LLP

Date: February 1, 2002

By: 
James D. Halsey, Jr.
Registration No. 22,729

700 11th Street, N.W., Ste. 500
Washington, D.C. 20001
(202) 434-1500

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

J1040 U.S. PRO
10/061307
02/04/02

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2001年10月12日

出 願 番 号

Application Number:

特願2001-314950

出 願 人

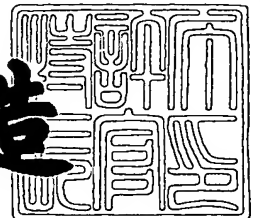
Applicant(s):

富士通株式会社

2001年12月21日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2001-3109995

【書類名】 特許願

【整理番号】 0151886

【提出日】 平成13年10月12日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G02B 5/30

【発明の名称】 可変偏光面回転子およびそれを用いた光デバイス

【請求項の数】 5

【発明者】

 【住所又は居所】 北海道札幌市北区北七条西四丁目3番地1 富士通東日本デジタル・テクノロジー株式会社内

 【氏名】 長枝 浩

【発明者】

 【住所又は居所】 北海道札幌市北区北七条西四丁目3番地1 富士通東日本デジタル・テクノロジー株式会社内

 【氏名】 三田村 宣明

【発明者】

 【住所又は居所】 北海道札幌市北区北七条西四丁目3番地1 富士通東日本デジタル・テクノロジー株式会社内

 【氏名】 秋元 和明

【特許出願人】

 【識別番号】 000005223

 【氏名又は名称】 富士通株式会社

【代理人】

 【識別番号】 100078330

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 笹島 富二雄

 【電話番号】 03-3508-9577

【手数料の表示】

 【予納台帳番号】 009232

特 2 0 0 1 - 3 1 4 9 5 0

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9719433

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 可変偏光面回転子およびそれを用いた光デバイス

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

直線偏光の偏光面を回転する可変偏光面回転子であって、

入力光線の偏光方向に対して同一の方向または 90 度傾いた方向の光学軸を有し、透過する光線に対して、前記光学軸に平行な偏光成分と前記光学軸に垂直な偏光成分との間に 90 度の位相差を与える位相板と、

前記位相板の光学軸に対して ±45 度傾いた光学軸を有し、透過する光線に対して、前記光学軸に平行な偏光成分と前記光学軸に垂直な偏光成分との間に可変の位相差を与える位相差可変素子と、

前記位相差可変素子の可変の位相差を調整する位相差調整部と、を備え、

前記入力光線が前記位相差可変素子を透過して楕円偏光または円偏光にされた後に前記位相板を透過して直線偏光にされることによって、前記入力光線の偏光面が前記位相差可変素子で与えられる位相差に応じた角度で回転されることを特徴とする可変偏光面回転子。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の可変偏光面回転子であって、

光を反射する反射板を備え、

入力光路から出射される前記入力光線が、前記位相板および前記位相差可変素子を順に透過し、前記反射板で反射され、前記位相差可変素子および前記位相板を順に再度透過して出力光路に入射される反射型の構成としたことを特徴とする可変偏光面回転子。

【請求項 3】

請求項 1 に記載の可変偏光面回転子を用いた可変光減衰器であって、

入力光路から出射される光を偏光分離して前記可変偏光面回転子に与える第 1 偏光分離素子と、

前記可変偏光面回転子から出力される光を偏光分離し、所定の偏光状態の光を出力光路に入射させる第 2 偏光分離素子と、を備え、

前記第 1 偏光分離素子で偏光分離された直線偏光に対する前記可変偏光面回転子での偏光面の回転角を調整することによって、前記出力光路への入射光の光量を可変にしたことを特徴とする可変光減衰器。

【請求項 4】

請求項 1 に記載の可変偏光面回転子を用いた光スイッチであって、

入力光路から出射される光を偏光分離する第 1 偏光分離部と、

該第 1 偏光分離部で偏光分離された複数の直線偏光を各々の偏光面を一致させて前記可変偏光面回転子に与える偏光面一致制御部と、

前記可変偏光面回転子から出力される光を偏光分離し、進行方向が互いに異なる複数の光路のいずれかに出力する第 2 偏光分離部と、

該第 2 偏光分離部で各光路に出力された光の偏光状態を、前記第 1 偏光分離部で偏光分離される前と同じ偏光状態に復帰させる複数の偏光復帰部と、

該偏光復帰部で偏光状態が復帰された光を合成して、前記各光路に対応した出力光路に入射させる複数の偏光合成部と、を備え、

前記第 1 偏光分離部で偏光分離された直線偏光に対する前記可変偏光面回転子での偏光面の回転角を調整することによって、前記複数の出力光路の切り替えを行うことを特徴とする光スイッチ。

【請求項 5】

請求項 1 に記載の可変偏光面回転子を用いた光フィルタであって、

入力光路から出射される光を偏光分離して前記可変偏光面回転子に与える偏光分離素子と、

前記可変偏光面回転子から出力される直線偏光が入力され、該直線偏光の進行方向に対して垂直な平面内で直交する 2 つの偏光成分についての透過率または反射率の波長変化が異なる特性を持つ偏光波長特性変化素子と、を備え、

前記偏光分離素子で偏光分離された直線偏光に対する前記可変偏光面回転子での偏光面の回転角を調整して、前記偏光波長特性変化素子に入力される直線偏光についての前記直交する 2 つの偏光成分の比率を変化させることによって、前記偏光波長特性変化素子の透過光または反射光の波長特性を可変にしたことを特徴とする光フィルタ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、入力光線の偏光面を回転させる可変偏光面回転子に関し、特に、直線偏光の偏光面を任意の角度で回転させるのに好適な可変偏光面回転子およびそれを用いた光デバイスに関する。

【0002】

【従来の技術】

従来の可変偏光面回転子としては、例えば、磁気光学結晶に印加する磁場を変化させることにより、入力光線の偏光面を回転させる磁気光学効果を応用した可変ファラデー回転子などが知られている。図22は、従来の可変ファラデー回転子の構成例を示したものである。図22において、従来の可変ファラデー回転子100は、コリメートレンズ102を有する入力光ファイバ101とコリメートレンズ104を有する出力光ファイバ103との間の光軸上に配置され、入力側のコリメートレンズ102から出射される入力光線の偏光面を所要の角度だけ回転させて出力側のコリメートレンズ104に送るものである。この可変ファラデー回転子100は、ここでは例えば、ファラデー素子（磁気光学結晶）110と、それに90度異なる2方向から磁界を印加する永久磁石111および電磁石112とを組み合わせた構成を有するものとする。このような具体的な構成において、ファラデー素子110の磁化方向は永久磁石111による一定磁界と電磁石112による可変磁界との合成磁界の方向を向き、その合成磁界は磁化が飽和するのに十分な強さに設定されている。このため、ファラデー素子110の磁化ベクトルは、その大きさが一定で方向だけが変化ようになる。従って、光線の進行方向と平行な磁化成分は、合成磁界の方向すなわち電磁石112による可変磁界の大きさに応じて変化することになり、この光線の進行方向と平行な磁化成分によって決まるファラデー回転角が、電磁石112による磁界の大きさに応じて変化ようになる。

【0003】

また、従来の可変偏光面回転子としては、例えば、液晶を利用した構成も知ら

れている。この液晶を用いた従来の可変偏光面回転子は、液晶セルに印加する電場を変化させることにより、入力光線の偏光面を回転させるものである。

上記のようなファラデー素子や液晶等を利用した従来の可変偏光面回転子は、例えば、可変光減衰器や光スイッチ、光アイソレータ、光フィルタなどの各種光デバイスに使用されている。具体的には、可変ファラデー回転子を用いた可変光減衰器が、例えば特開平 6 - 5 1 2 5 5 号公報等の開示されており、可変ファラデー回転子を用いた光フィルタ（利得等化器）が、例えば特開平 1 1 - 2 7 1 7 0 0 号公報等に記載されている。また、液晶を利用した可変光減衰器若しくは光スイッチについては、例えば特開 2 0 0 1 - 1 3 4 7 7 号公報や特開平 1 1 - 5 2 3 3 9 号公報、特開平 7 - 2 6 1 1 4 0 号公報、特開昭 6 1 - 2 8 5 4 2 7 号公報、実開昭 5 7 - 1 0 0 7 2 3 号公報、特表平 8 - 5 0 5 9 6 0 号公報、特表平 8 - 5 0 5 9 6 1 号公報等の開示されている。さらに、前記の特表平 8 - 5 0 5 9 6 1 号公報には液晶を利用した光アイソレータも記載されている。

【 0 0 0 4 】

上記のような各種の光デバイスでは、可変偏光面回転子による偏光面の回転制御に基づいて、透過光の減衰量の調整や光路の切り替え、透過（損失）波長特性の制御などの実現が図られている。

【 0 0 0 5 】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記のような従来の可変偏光面回転子については、磁気光学効果を利用した可変ファラデー回転子の場合、磁場を可変にする必要があるため電磁石を用いなければならずサイズが大きくなってしまふと共に、比較的高価なファラデー素子を使用するため高コストになってしまうという問題がある。

【 0 0 0 6 】

また、液晶を用いた可変偏光面回転子の場合には、入力光線の偏光面の回転角を 2 つの状態（例えば、無回転の状態と特定の角度まで回転させた状態など）のいずれかに 2 者択一的に変化させることは容易であるが、その中間の状態に偏光面の回転角を制御することが難しいという問題がある。前述した特開 2 0 0 1 - 1 3 4 7 7 号公報等においては、2 つの 4 5 ° ツイストネマチック液晶を直列に

配置することによって中間の状態を制御し易くする技術が提案されているが、この場合、2つのツイストネマチック液晶に対する制御を偏光面の回転角に応じて切り替えて行う必要があるため、制御が複雑になってしまうという欠点がある。

【0007】

本発明は上記のような点に着目してなされたもので、偏光面の回転角を容易に制御することができる小型で低コストの可変偏光面回転子およびそれを用いた光デバイスを提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】

上記の目的を達成するため、本発明にかかる可変偏光面回転子は、直線偏光の偏光面を回転するための構成として、位相板と、位相差可変素子と、位相差調整部とを備える。位相板は、入力光線の偏光方向に対して同一の方向または90度傾いた方向の光学軸を有し、透過する光線に対して、その光学軸に平行な偏光成分と垂直な偏光成分との間に90度の位相差を与える。位相差可変素子は、位相板の光学軸に対して±45度傾いた光学軸を有し、透過する光線に対して、その光学軸に平行な偏光成分と垂直な偏光成分との間に可変の位相差を与える。位相差調整部は、位相差可変素子の可変の位相差を調整する。そして、この可変偏光面回転子は、入力光線が位相差可変素子を透過して楕円偏光または円偏光にされた後に位相板を透過して直線偏光にされることによって、入力光線の偏光面が位相差可変素子で与えられる位相差に応じた角度で回転される構成としたものである。

【0009】

上記のような可変偏光面回転子によれば、位相差可変素子と位相板の組み合わせにより偏光面の回転制御ができるようになるため、従来のファラデー回転子等に比べて小型化および低コスト化を図ることが可能になると共に、位相差可変素子で与えられる位相差を調整することによって偏光面の回転角を任意に設定することができるため、回転角の制御も容易に行うことが可能になる。

【0010】

上記可変偏光面回転子の1つの態様としては、入力光路から出射される入力光

線が、位相差可変素子および位相板を順に透過して出力光路に入射される透過型の構成としてもよい。また、他の態様としては、光を反射する反射板を備え、入力光路から出射される入力光線が、位相板および位相差可変素子を順に透過し、反射板で反射され、位相差可変素子および位相板を順に再度透過して出力光路に入射される反射型の構成としてもよい。

【0011】

さらに、上記各態様を変形させた別の態様として、位相板に代えて第2位相差可変素子と第2位相差調整部とを設けるようにしてもよい。第2位相差可変素子は、入力光線の偏光方向に対して同一の方向または90度傾いた方向の光学軸を有し、透過する光線に対して、その光学軸に平行な偏光成分と垂直な偏光成分との間に可変の位相差を与える。第2位相差調整部は、第2位相差可変素子の可変の位相差が入力光線の波長に応じて90度となるように調整するものである。

【0012】

上記のような構成の可変偏光面回転子によれば、入力光線の波長帯域がある程度の幅を持つような場合でも、第2位相差可変素子および第2位相差調整部により波長に応じて90度の位相差を確実に与えることができるようになる。

上述したような本発明にかかる可変偏光面回転子は、可変光減衰器や光スイッチ、光フィルタ等の各種光デバイスにおいて、直線偏光の偏光面を任意の角度で回転させるための光学要素として使用することが可能である。

【0013】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態を図面に基づいて説明する。

図1は、本発明にかかる可変偏光面回転子の第1実施形態を示す構成図である。

図1において、本可変偏光面回転子1は、例えば、位相差可変素子2と、位相板としての1/4波長板（以下、 $\lambda/4$ 板とする）3と、位相差調整部4とを備えて構成される。この可変偏光面回転子1は、コリメートレンズ12を有する入力光ファイバ10（入力光路）とコリメートレンズ13を有する出力光ファイバ14（出力光路）との間の光軸上に配置され、入力側のレンズ12から出射され

る直線偏光の入力光線が位相差可変素子 2 および $\lambda/4$ 板 3 にこの順に入射されて偏光面が回転され、 $\lambda/4$ 板 3 を透過した直線偏光が出力側のレンズ 1 3 に送られる。

【0014】

なお、符号 1 1 および 1 5 は、入力光ファイバ 1 0 および出力光ファイバ 1 4 の端部に設けられるフェルールである。また、ここでは、レンズ 1 2 と位相差可変素子 2 の間の点を P 1 とし、位相差可変素子 2 と $\lambda/4$ 板 3 の間の点を P 2 とし、 $\lambda/4$ 板 3 とレンズ 1 3 の間の点を P 3 とする。

位相差可変素子 2 および $\lambda/4$ 板 3 の各光学軸の関係は、図 2 の上段に示すように、 $\lambda/4$ 板 3 の光学軸 3 a（複屈折結晶の C 軸（遅軸）に該当する）が入力光線の偏光方向に対して同一方向となるように設定され、その $\lambda/4$ 板 3 の光学軸 3 a に対して、位相差可変素子 2 の光学軸 2 a が +45 度または -45 度傾くように設定される。または、図 2 の下段に示すように、 $\lambda/4$ 板 3 の光学軸 3 a が入力光線の偏光方向に対して 90 度傾いた方向となるように設定され、その $\lambda/4$ 板 3 の光学軸 3 a に対して、位相差可変素子 2 の光学軸 2 a が +45 度または -45 度傾くように設定される。上記のような図 2 に示した各関係において、入力側のレンズ 1 2 から出射され位相差可変素子 2 に与えられる直線偏光の偏光方向は、位相差可変素子 2 の光学軸 2 a に対して ± 45 度傾いた方向となる。

【0015】

位相差可変素子 2 は、透過する光線に対して、その光学軸 2 a に平行な偏光成分と垂直な偏光成分との間に可変の位相差 α を与えることが可能であり、この可変の位相差 α は位相差調整部 4 によって任意の値に調整されるものとする。位相差可変素子 2 の具体例としては、ネマチック液晶等の液晶素子、または、ニオブ酸リチウム (LiNbO_3) 結晶や (Pb, La) (Zr, Ti) O_3 結晶 (PLZT 結晶) 等の電気光学効果を有する結晶を用いて形成されたものなどが挙げられる。ただし、本発明における位相差可変素子は上記の具体例に限定されるものではない。

【0016】

$\lambda/4$ 板 3 は、透過する光線に対して、その光学軸 3 a に平行な偏光成分と垂

直な偏光成分との間に 90 度の位相差を与えるものである。ここでは、 $\lambda/4$ 板 3 で与えられる位相差の波長依存性が小さい場合を考え、 $\lambda/4$ 板 3 を透過するすべての波長の光線に対して 90 度の位相差が固定的に与えられるものとする。

上記のような構成の可変偏光面回転子 1 では、入力光ファイバ 10 に取り付けられたフェルール 11 の一端面から直線偏光が出射され、その直線偏光がレンズ 12 でコリメートされて可変偏光面回転子 1 の位相差可変素子 2 に入力される。ここでは、位相差可変素子 2 への入力光線（図 1 の点 P1 における光線）の偏光状態として、例えば図 3 の P1 に示すような水平方向の直線偏光を考えることにする。このような入力光線は、位相差可変素子 2 の光学軸 2a に対して偏光方向が ± 45 度傾いた状態で位相差可変素子 2 に入射されることになる。

【0017】

なお、本発明における入力光線の偏光方向は水平方向に限られるものではなく、任意の方向の直線偏光を入力光線とすることが可能であり、その入力光線の偏光方向に対応させて位相差可変素子 2 および $\lambda/4$ 板 3 の各光学軸を設定するようにする。

位相差可変素子 2 では、入力光線の光学軸 2a に平行な偏光成分と垂直な偏光成分との間に位相差 α が与えられる。これにより、位相差可変素子 2 を透過した光線（図 1 の点 P2 における光線）の偏光状態は、図 3 の P2 に示すように楕円化される。

【0018】

図 4 は、位相差可変素子 2 における偏光状態の変化の様子を示した模式図である。なお、図には位相差可変素子 2 としてネマチック液晶を使用した一例が示してある。ネマチック液晶を用いた位相差可変素子 2 の場合には、例えば液晶セル 2A の透明電極 2B に印加する電圧 V を調整して、セル内の液晶分子 2C を A 面上で回転させる（図 4（D）参照）ことによって、液晶における光学軸に相当する A 面の方向に平行な偏光成分と垂直な偏光成分との間に位相差 α が与えられる。具体的に図 4（A）には、液晶セル 2A に電圧を印加しないときに入力された直線偏光がそのままの偏光状態で出力される場合が示しており、図 4（B）には、液晶セル 2A に電圧 V_1 を印加したときに直線偏光が楕円偏光に変化する場合

が示してあり、図4 (C) には、液晶セル2 Aに電圧 $V_2 (\neq V_1)$ を印加したときに直線偏光が円偏光に変化する場合が示してある。

【0019】

そして、位相差可変素子2を透過して楕円化された光線は、位相差可変素子2の光学軸2 aとのなす角が ± 45 度に設定された光学軸3 aを持つ $\lambda/4$ 板3に入力されることにより、楕円の長軸に平行な楕円の接線と楕円の短軸に平行な楕円の接線との交点および原点を通る直線偏光に変化する。これにより、 $\lambda/4$ 板3を透過した光線(図1の点P3における光線)の偏光状態は、図3のP3に示すように、入力光線の偏光面を所要の角度だけ回転させた直線偏光となる。

【0020】

ここで、上記のような可変偏光面回転子1による直線偏光の偏光面の回転動作を数式を用いて説明する。以下では、図4 (D) の左側に示したように、光線の進行方向に対して垂直な平面内にx軸およびy軸をとり、光線の進行方向をz軸とする座標系を設定することにする。

まず、初期座標xy平面において、入力光線の偏光方向がx軸に平行であるとすると、位相差可変素子2に入力される直線偏光は次の(1)式で表される。

【0021】

【数1】

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sin(\omega t) \\ 0 \end{pmatrix} \quad \dots(1)$$

ただし、 ω は角周波数、 t は時間である。

次に、入力光線の偏光方向に対して 45 度傾いた光学軸2 aを有する位相差可変素子2による位相遅延を与えるため、次の(2)式に示す関係に従って、 45° 傾いた座標系 (x', y') に座標変換を行う。

【0022】

【数 2】

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(45^\circ) & \sin(45^\circ) \\ -\sin(45^\circ) & \cos(45^\circ) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \sin(\omega t) \\ 0 \end{pmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} \sin(\omega t) \\ -\sin(\omega t) \end{pmatrix} \quad \dots(2)$$

位相差可変素子 2 において与えられる x' 軸方向の位相遅延が $a + \alpha$ であり、 y' 軸方向の位相遅延が a であるとする、位相差可変素子 2 を透過した後の光線は次の (3) 式で表されるようになる。

【0 0 2 3】

【数 3】

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} \sin(\omega t + a + \alpha) \\ -\sin(\omega t + a) \end{pmatrix} \quad \dots(3)$$

$\lambda/4$ 板 3 は、位相差可変素子 2 の光学軸 2 a に対して -45° 傾いた光学軸 3 a を持つものとして、すなわち、入力光線の偏光方向と同じ方向の光学軸 3 a を持つものとして、次の (4) 式に示す関係に従って、 $x y$ 座標系に再変換を行う。

【0 0 2 4】

【数 4】

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} \cos(-45^\circ) & \sin(-45^\circ) \\ -\sin(-45^\circ) & \cos(-45^\circ) \end{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} \sin(\omega t + a + \alpha) \\ -\sin(\omega t + a) \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot \sin\left(\omega t + a + \frac{\alpha}{2}\right) \\ \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot \cos\left(\omega t + a + \frac{\alpha}{2}\right) \end{pmatrix} \quad \dots(4) \end{aligned}$$

$\lambda/4$ 板 3 において与えられる x 軸方向の位相遅延が $b + 90^\circ$ であり、y 軸方向の位相遅延が b であるとする、 $\lambda/4$ 板 3 を透過した後の光線は次の (5) 式で表されるようになる。

【0025】

【数 5】

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot \sin\left(\omega t + a + \frac{\alpha}{2} + b + 90^\circ\right) \\ \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot \cos\left(\omega t + a + \frac{\alpha}{2} + b\right) \end{pmatrix}$$

$$= \cos\left(\omega t + a + \frac{\alpha}{2} + b\right) \cdot \begin{pmatrix} \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) \\ \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \end{pmatrix} \quad \dots (5)$$

上記 (5) 式によって示される光線は、入力光線の偏光面を $\alpha/2$ 度だけ回転させた直線偏光を表している。従って、図 1 の構成において、入力側のレンズ 1 2 から出射された直線偏光が位相差 α を与える位相差可変素子 2 および $\lambda/4$ 板 3 を順に透過した場合、偏光面を $\alpha/2$ 度回転させた直線偏光が得られることになる。このため、例えば入力光線の偏光面を $0 \sim 90$ 度の範囲で回転させたい場合には、位相差可変素子 2 によって与えられる位相差 α を $0 \sim 180$ 度の範囲で可変にすればよいことになる。

【0026】

上述したように第 1 実施形態の可変偏光面回転子 1 によれば、液晶素子や電気光学効果を有する結晶等を用いた位相差可変素子 2 と $\lambda/4$ 板 3 との簡単な組み合わせにより直線偏光の偏光面を位相差可変素子 2 で与える位相差 α に応じた角度で回転させることができるため、従来のファラデー回転子等比べて小型化および低コスト化を図ることが可能である。また、単一の位相差可変素子 2 で与えられる位相差 α を調整することによって偏光面の回転角を任意に設定することができるため、回転角の制御も容易に行うことが可能である。

【 0 0 2 7 】

なお、上述した可変偏光面回転子の第1実施形態では、入力光ファイバ10から偏光状態の保存された直線偏光が出射されるようにしたが、本発明は任意の偏光状態の光線が入力光ファイバ10から出射される場合にも応用することが可能である。この場合には、例えば図5に示すように、入力光線から直線偏光を切り出す偏光子16を入力側のレンズ12と位相差可変素子2との間の光路上に挿入し、この偏光子16の光学軸に対して、 $\lambda/4$ 板3の光学軸が同一方向または90度傾いた方向となるように設定すればよい。

【 0 0 2 8 】

次に、本発明にかかる可変偏光面回転子の第2実施形態について説明する。

図6は、第2実施形態による可変偏光面回転子の構成図である。なお、上述した第1実施形態の構成と同様の部分には同一の符号を付してその説明を省略し、以降、他の実施形態においてもこれと同様とする。

図6において、本可変偏光面回転子1'は、第1実施形態の場合と同様の位相差可変素子2、 $\lambda/4$ 板3および位相差調整部4に加えて、光を反射する反射板5を設け、 $\lambda/4$ 板3、位相差可変素子2および反射板5をこの順に配置して反射型の構成を実現したものである。この反射型の可変偏光面回転子1'は、同じ側に並べられた入力光ファイバ10および出力光ファイバ14の各端面に $\lambda/4$ 板3が対向するように配置され、入力光ファイバ10から出射される入力光線が可変偏光面回転子1'内で反射されて出力光ファイバ14に入射されるように光学系が設定されている。

【 0 0 2 9 】

なお、図6では入力光ファイバ10のフェルール11端面から出射される光線をコリメートするレンズと、可変偏光面回転子1'で反射出力される光線を出力光ファイバ14のフェルール15端面に集光するレンズとが省略してある。また、ここでは、入力光ファイバ10および出力光ファイバ14を個別に配置するようにしているが、2芯の光ファイバ等を用いて入出力系を束ねることも可能である。さらに、図6の構成例においては、入力光ファイバ10と反射板5の間の往路側光路上における、 $\lambda/4$ 板3の光入力点および光出力点をP1およびP2、

位相差可変素子 2 と反射板 5 の間の点を P 3 とすると共に、反射板 5 と出力光ファイバ 1 4 の間の復路側光路上における $\lambda/4$ 板 3 の光入力点および光出力点を P 4 および P 5 としている。

【 0 0 3 0 】

$\lambda/4$ 板 3 および位相差可変素子 2 の各光学軸の関係は、上述した第 1 実施形態の場合と基本的に同様であって、図 7 の上段に示すように、 $\lambda/4$ 板 3 の光学軸 3 a が入力光線の偏光方向に対して同一方向となるように設定され、その $\lambda/4$ 板 3 の光学軸 3 a に対して、位相差可変素子 2 の光学軸 2 a が + 4 5 度または - 4 5 度傾くように設定される。または、図 7 の下段に示すように、 $\lambda/4$ 板 3 の光学軸 3 a が入力光線の偏光方向に対して 9 0 度傾いた方向となるように設定され、その $\lambda/4$ 板 3 の光学軸 3 a に対して、位相差可変素子 2 の光学軸 2 a が + 4 5 度または - 4 5 度傾くように設定される。

【 0 0 3 1 】

上記のような反射型の可変偏光面回転子 1' では、入力光ファイバ 1 0 から出射されてコリメートされた入力光線が $\lambda/4$ 板 3 に入力される。ここでも第 1 実施形態の場合と同様に、 $\lambda/4$ 板 3 への入力光線（図 6 の点 P 1 における光線）の偏光状態として、例えば図 8 で P 1 に示すような水平方向の直線偏光を考えることにする。 $\lambda/4$ 板 3 では、その光学軸 3 a と入力光線の偏光方向とが同じ方向となるため、図 8 で P 2 に示すように、入力光線が偏光状態を変えることなく直線偏光のまま透過して位相差可変素子 2 に伝えられることになる。

【 0 0 3 2 】

位相差可変素子 2 では、第 1 実施形態の場合と同様にして、 $\lambda/4$ 板 3 からの直線偏光に対し、光学軸 2 a に平行な偏光成分と垂直な偏光成分との間に位相差 α が与えられ、図 8 で P 3 に示すように偏光状態が位相差 α に応じて楕円化された光線が生成される。そして、位相差可変素子 2 を透過して楕円化された光線は、反射板 5 で反射されて位相差可変素子 2 に戻され、往路と同様にして復路でも位相差 α が与えられる。位相差可変素子 2 を往復した光線は、図 8 で P 4 に示すような楕円偏光または円偏光となって $\lambda/4$ 板 3 に再入力される。

【 0 0 3 3 】

$\lambda/4$ 板 3 では、その光学軸 3 a が位相差可変素子 2 の光学軸 2 a に対して ± 45 度傾けられていることにより、位相差可変素子 2 からの光線が、楕円の長軸に平行な楕円の接線と楕円の短軸に平行な楕円の接線との交点および原点を通る直線偏光に変えられる。これにより、 $\lambda/4$ 板 3 を透過して出力光ファイバ 1 5 に送られる光線は、図 8 で P 5 に示すように、入力光線の偏光面を所要の角度だけ回転させた直線偏光となる。

【 0 0 3 4 】

上記のような反射型の可変偏光面回転子 1' による偏光面の回転角度は、入力光線が位相差可変素子 2 を往復することによって与えられる 2α の位相差に応じて α 度となることが、上述の (1) 式 ~ (5) 式の関係からも明らかである。このため、例えば入力光線の偏光面を $0 \sim 90$ 度の範囲で回転させたい場合には、位相差可変素子 2 によって与えられる位相差 α を $0 \sim 90$ 度の範囲で可変にすればよいことになる。

【 0 0 3 5 】

このように第 2 実施形態による反射型の可変偏光面回転子 1' によれば、上述した第 1 実施形態の場合と同様の効果を得ることができると共に、位相差可変素子 2 で与える位相差 α の調整範囲を狭くすることが可能であるため、位相差可変素子 2 として用いる液晶素子等への印加電圧を小さくすることができる。

なお、上述した第 1、2 実施形態の可変偏光面回転子 1, 1' においては、位相差可変素子 2 により偏光状態が楕円化された光線を直線偏光に戻すために、互いに垂直な偏光成分に対して 90 度の位相差を固定的に与える $\lambda/4$ 板 3 を使用した。しかし、一般的な $\lambda/4$ 板は、入力光線の波長が設定波長からずれてくると、与えられる位相差が 90 度からずれてきてしまうため、入力光線の波長帯域がある程度の幅を持つような場合には、その波長帯域内のすべての光線に対して $\lambda/4$ 板により 90 度の位相差を与えることができなくなる可能性がある。このような場合には、例えば図 9 の構成図に示すように、 $\lambda/4$ 板に代えて、位相差を変化させることのできる位相差可変素子 6 およびその可変の位相差を調整する位相差調整部 7 を設けるようにするのが好ましい。

【 0 0 3 6 】

上記の位相差可変素子 6 は、その光学軸が入力光線の偏光方向に対して同一方向または 90 度傾いた方向となるように設定される。この位相差可変素子 6 としては、位相差可変素子 2 と同様のデバイスを用いることができ、具体的には、ネマチック液晶等の液晶素子、または、ニオブ酸リチウム (LiNbO_3) 結晶や (Pb, La) (Zr, Ti) O_3 結晶 (PLZT 結晶) 等の電気光学効果を有する結晶を用いて形成されたものなどを使用することが可能である。例えば、各々の位相差可変素子 2, 6 にネマチック液晶を用いた場合には、図 10 に示すような要部構成および偏光状態の変化になる。また例えば、各々の位相差可変素子 2, 6 に電気光学液晶を用いた場合には、図 11 に示すような要部構成および偏光状態の変化になる。上記のような各構成例において、位相差可変素子 6 は、素子に電圧を印加していない状態で設定中心波長の位相差が 90 度付近となるような設定とし、波長の違いによる位相差の変化は印加電圧を調整することで補償されるようにする。波長の違いによる位相差の調整は微小量である場合が多いため、位相差可変素子 6 への印加電圧は比較的小さな値となる。

【0037】

なお、直線偏光を楕円化させるための位相差可変素子 2 と、楕円化された光線を直線偏光に戻すための位相差可変素子 6 とに使用する液晶素子または電気光学結晶等の選択については、上記図 10 や図 11 に示した一例に限られるものではなく各材料の任意の組み合わせが可能であり、使用条件やコスト等に応じて適宜に選択することができる。また、図 9 では、上述の図 1 に示した透過型の構成について $\lambda/4$ 板を位相差可変素子に変えるようにしたが、図 6 に示した反射型の構成についても同様とすることが可能である。

【0038】

次に、上述してきたような本発明にかかる可変偏光面回転子を用いた各種光デバイスの実施形態について説明する。

図 12 は、本発明にかかる可変偏光面回転子を用いた透過型の可変光減衰器の実施形態を示す構成図である。

図 12 において、可変光減衰器 20 は、例えば、くさび形状の複屈折性結晶を用いて形成された偏光子 21 および検光子 22 を、上述の図 1 に示した可変偏光

面回転子 1 の前後に配置し、入力光ファイバ 1 0 から出射された光線がレンズ 1 2 を介して偏光子 2 1 に入力され、また、検光子 2 2 を透過した所定の偏光状態の光線がレンズ 1 3 を介して出力光ファイバ 1 4 に入射される構成としたものである。さらに、偏光子 2 1 および検光子 2 2 は、互いの光学軸の方向が一致するように配置されており、これらの光学軸に対して $\lambda/4$ 板 3 の光学軸が同一方向または 90 度傾いた方向となるように設定されている。

【 0 0 3 9 】

なお、ここでは、偏光子 2 1 と可変偏光面回転子 1 の間の点を P 1 1 とし、可変偏光面回転子 1 と検光子 2 2 の間の点を P 1 2 とし、検光子 2 2 とレンズ 1 3 の間の点を P 1 3 とする。

上記のような構成の可変光減衰器 2 0 では、入力光ファイバ 1 0 に取り付けられたフェルル 1 1 の一端面から出射された光線が、レンズ 1 2 でコリメートされて偏光子 2 1 に入力され、常光 o と異常光 e に分離されて可変偏光面回転子 1 にそれぞれ送られる。可変偏光面回転子 1 に入力される常光 o および異常光 e の偏光方向は、例えば図 1 3 の P 1 1 に示すように、水平方向および垂直方向であって互いに直交している。

【 0 0 4 0 】

可変偏光面回転子 1 に入力された常光 o および異常光 e は、位相差可変素子 2 および $\lambda/4$ 板 3 を順に透過することにより、位相差可変素子 2 で与えられる位相差 α に応じた回転角に従って各々の偏光面が回転されて検光子 2 2 に送られる。可変偏光面回転子 1 を透過した各光線 o , e は、具体的には図 1 3 の P 1 2 に示すように、各々の偏光面が互いに逆方向に同じ角度 $\alpha/2$ だけ回転された直線偏光となる。

【 0 0 4 1 】

可変偏光面回転子 1 で偏光面が回転されて検光子 2 2 に入力された各光線 o , e は、検光子 2 2 によって常光と異常光にそれぞれ分離される。ここでは、検光子 2 2 に入力された光線 o について分離された成分を常光 oo と異常光 oe とし、検光子 2 2 に入力された光線 e について分離された成分を常光 eo と異常光 ee とする。各光線 oo , oe , eo , ee の偏光方向は、図 1 3 の P 1 3 に示す

ような状態となる。これらの検光子 2 2 を透過した光線については、偏光子 2 1 および検光子 2 2 の各光学軸の方向が一致させてあるため、常光 $o o$ および異常光 $e e$ は、各々の進行方向が平行となりレンズ 1 3 によってフェルール 1 5 の端面に集光されて出力光ファイバ 1 4 に入射される（図 1 2 に実線で示す光路）。一方、検光子 2 2 を透過した異常光 $o e$ および常光 $e o$ は、各々の進行方向が平行ではなく広がるようになるためレンズ 1 3 を通過しても出力光ファイバ 1 4 の一端には結合されなくなる（図 1 2 に点線で示す光路）。

【 0 0 4 2 】

具体的に、本可変光減衰器 2 0 への入力光が可変偏光面回転子 1 により偏光面の回転を受けない場合には、偏光子 2 1 で分離された常光 o が検光子 2 2 から常光 $o o$ として出力され、偏光子 2 1 で分離された異常光 e が検光子 2 2 から異常光 $e e$ として出力されるため、偏光子 2 1 での常光 o および異常光 e がレンズ 1 3 を介して出力光ファイバ 1 4 に結合するようになる。一方、入力光が可変偏光面回転子 1 により 90 度の偏光面の回転を受けた場合には、偏光子 2 1 で分離された常光 o が検光子 2 2 から異常光 $o e$ として出力され、偏光子 2 1 で分離された異常光 e が検光子 2 2 から常光 $e o$ として出力されるため、偏光子 2 1 での常光 o および異常光 e はレンズ 1 3 を通っても出力光ファイバ 1 4 には結合しなくなる。

【 0 0 4 3 】

このようにして、可変偏光面回転子 1 における偏光面の回転量に応じて出力光ファイバ 1 4 に入射される光の光量が変化するため、図 1 2 に示したような光学系の構成は、可変光減衰器として機能することになる。

ここで、検光子 2 2 から出力される、常光 $o o$ と異常光 $o e$ の光量の比率（ $o o / o e$ 比）および異常光 $e e$ と常光 $e o$ の光量の比率（ $e e / e o$ 比）は、可変偏光面回転子 1 における常光 o および異常光 e についての各偏光面の回転角の絶対値によって決まるため、各々の比率が等しくなる（ $o o / o e$ 比 = $e e / e o$ 比）。これにより、出力光ファイバ 1 4 に入射する光線の光量は、入力光ファイバ 1 0 から出射される光線の偏光状態には依存しないことになり、可変光減衰器 2 0 は入射偏光依存性変動が発生することのない安定した光減衰特性が得られ

ることになる。

【0044】

上記のように本実施形態の可変光減衰器20によれば、従来のファラデー回転子等を用いた可変光減衰器に比べて小型化および低コスト化を図ることができると共に、可変の減衰量の制御も容易に行うことが可能である。

次に、本発明にかかる可変偏光面回転子を用いた可変光減衰器の他の実施形態について説明する。

【0045】

図14は、本発明にかかる可変偏光面回転子を用いた反射型の可変光減衰器の実施形態を示す構成図である。

図14において、可変光減衰器20'は、例えば、くさび形状の複屈折性結晶を用いて形成された偏光子21を、上述の図6に示した反射型の可変偏光面回転子1'の $\lambda/4$ 板3側に対向させて配置し、ここでは2芯の光ファイバ10'の入力側光路から出射された光線がレンズ12'を介して偏光子21に入力され、その偏光子21を透過した光線が可変偏光面回転子1'内を伝搬して反射板5で反射されて偏光子21に戻され、偏光子21を再度透過した所定の偏光状態の光線がレンズ12'を介して光ファイバ10'の出力側光路に入射される構成としたものである。また、偏光子21および $\lambda/4$ 板3は、各々の光学軸が同一方向または90度傾いた方向となるように配置されている。

【0046】

上記のような構成の反射型の可変光減衰器20'では、図15(A)の往路に示すように、光ファイバ10'の入力光路を伝搬してフェルルール11'の一端面から出射された光線が、レンズ12'でコリメートされて偏光子21に入力され、常光oと異常光eに分離されて反射型の可変偏光面回転子1'にそれぞれ送られる。可変偏光面回転子1'に入力される常光oおよび異常光e(図15(A)でP21に示す位置を通る光線)の偏光方向は、例えば図16のP21に示すように、水平方向および垂直方向であって互いに直交している。

【0047】

可変偏光面回転子1'に入力された常光oおよび異常光eは、 $\lambda/4$ 板3に送

られ、 $\lambda/4$ 板3では、その光学軸が各光線の偏光方向と同一方向または90度の方向となるため、常光 o および異常光 e がそれぞれ偏光状態を変えることなく直線偏光のまま透過して位相差可変素子2に伝えられる。

位相差可変素子2では、 $\lambda/4$ 板3を透過した各光線 o 、 e が、位相差可変素子2の光学軸に平行な偏光成分と垂直な偏光成分との間に位相差 α が与えられて楕円化される。そして、位相差可変素子2を透過して楕円化された各光線 o 、 e は、図15(B)の往路に示すように、反射板5で反射されて位相差可変素子2に戻され、往路と同様にして復路でも位相差 α が与えられる。これにより位相差可変素子2を往復した各光線 o 、 e は楕円偏光または円偏光となって $\lambda/4$ 板3に再入力される。なお、反射板5の反射面5Aにおける各光線 o 、 e の入出射状態は、図17の拡大図に示すように、各々の入射角 ϕ_1 および出射角 ϕ_2 の間に $\phi_1 = \phi_2$ の関係が成り立つように光学系が設計されているものとする。

【0048】

$\lambda/4$ 板3では、位相差可変素子2を往復した各光線 o 、 e が、楕円の長軸に平行な楕円の接線と楕円の短軸に平行な楕円の接線との交点および原点を通る直線偏光に変えられる。これにより、 $\lambda/4$ 板3を透過して偏光子21に送られる各光線 o 、 e （図15(B)でP22に示す位置を通る光線）は、図16でP22に示すように、入力時における各々の偏光面を α 度だけ互いに逆方向にそれぞれ回転させた直線偏光となる。

【0049】

可変偏光面回転子1'で偏光面が α 度回転されて偏光子21に戻された各光線 o 、 e は、偏光子21によって常光と異常光にそれぞれ分離される。ここでは、偏光子21に入力された光線 o について再分離された成分を常光 oo と異常光 oe とし、偏光子21に入力された光線 e について再分離された成分を常光 eo と異常光 ee とする。各光線 oo 、 oe 、 eo 、 ee の偏光方向は、図16のP23に示すような状態となる。これらの偏光子21を透過した各光線は、異常光 oe および常光 eo については、各々の進行方向が平行となりレンズ12'によってフェルール11'の端面に集光されて光ファイバ11'の出力側光路に入射される（図15(B)に実線で示す光路）。一方、常光 oo および異常光 ee につ

いては、各々の進行方向が平行ではなく広がるようになるためレンズ 1 2' を通過しても光ファイバ 1 1' の出力側光路には結合されなくなる（図 1 5（B）に点線で示す光路）。

【 0 0 5 0 】

具体的に、本可変光減衰器 2 0' への入力光が可変偏光面回転子 1' により偏光面の回転を受けない場合には、偏光子 2 1 において、往路で分離された常光 o が復路で常光 oo として出力され、また、往路で分離された異常光 e が復路で異常光 ee として出力されるため、往路での常光 o および異常光 e はレンズ 1 2' で集光されても光ファイバ 1 1' の出力側光路には結合しなくなる。一方、入力光が可変偏光面回転子 1' により 9 0 度の偏光面の回転を受けた場合には、偏光子 2 1 において、往路で分離された常光 o が復路で異常光 oe として出力され、また、往路で分離された異常光 e が復路で常光 eo として出力されるため、往路での常光 o および異常光 e がレンズ 1 2' を介して光ファイバ 1 1' の出力側光路に結合するようになる。

【 0 0 5 1 】

このようにして、可変偏光面回転子 1' における偏光面の回転量に応じて光ファイバ 1 1' の出力側光路に入射される光の光量が変化するようにするため、図 1 4 に示したような反射型の光学系の構成も可変光減衰器として機能することになる。

上記のように本実施形態の反射型の可変光減衰器 2 0' によっても、上述した透過型の可変光減衰器 2 0' と同様の効果を得ることができる。また、透過型に比べて、同じ範囲の光減衰量を得るために位相差可変素子 2 で与えることが必要な位相差 α の調整範囲を狭くすることが可能であるため、位相差可変素子 2 として用いる液晶素子等への印加電圧を小さくすることができる。

【 0 0 5 2 】

次に、本発明にかかる可変偏光面回転子を用いた光スイッチの実施形態について説明する。

図 1 8 は、本発明にかかる可変偏光面回転子を用いた 1 × 2 光スイッチの実施形態を示す構成図である。

図18において、 1×2 光スイッチ30は、例えば、上述した透過型の可変偏光面回転子1の入力側光路上に、第1偏光分離部としての偏光分離素子31および偏光面一致制御部としての $\lambda/2$ 波長板（以下、 $\lambda/2$ 板とする）32を配置すると共に、可変偏光面回転子1の出力側光路上に、第2偏光分離部としてのくさび形偏光分離素子33を配置して、入力光ファイバ10から出射された光線がレンズ12を介して偏光分離素子31に入力され、また、くさび形偏光分離素子33で偏光分離されて異なる2つの方向に分岐された各光線が、それぞれ、偏光復帰部としての $\lambda/2$ 板34、34'、偏光合成部としての偏光分離素子35、35' およびレンズ13、13' を介して出力光ファイバ14、14' に入射される構成としたものである。

【0053】

偏光分離素子31は、レンズ12でコリメートされた入力光線をそのビーム径よりも大きな間隔をもって常光oおよび異常光eに偏光分離するものであって、具体的には、例えば平行ルチル板等を使用することが可能である。

$\lambda/2$ 板32は、例えば、偏光分離素子31から出射される異常光eの光路上に配置され（ここでは、偏光分離素子31の出射端面の半分に貼り付けられ）、上記異常光eの偏光方向に対して45度傾いた光学軸を持ち、透過する異常光eの偏光方向を90度回転させるものである。これにより、偏光分離素子31で分離された常光oおよび異常光eは、各々の偏光方向を一致させた2つの光線o、eとして可変偏光面回転子1に入力されるようになる。

【0054】

くさび形偏光分離素子33は、偏光分離素子31の光学軸に対して同一方向または90度傾いた方向の光学軸を持ち、可変偏光面回転子1を透過して偏光面が0度または90度回転された各光線o、eが入力され、各々の偏光状態に応じた屈折を生じさせて進行方向が互いに異なる2つの光路のいずれかに出力する。このくさび形偏光分離素子33の具体例としては、くさび形ルチル板等を使用することが可能である。

【0055】

$\lambda/2$ 板34、34' は、それぞれ、くさび形偏光分離素子33を透過して光

路の切り替えが行われた同一方向に伝搬する光のうち的一方について、その偏光面を90度回転させることにより、双方の光の偏光状態を入力時と同様の状態に復帰させるものである。

偏光分離素子35, 35'は、それぞれ、くさび形偏光分離素子33から直接送られてくる光と、 $\lambda/2$ 板34, 34'を介して送られてくる光とを合成してレンズ13, 13'に出力するものであって、具体的には、例えば平行ルチル板を使用することが可能である。なお、偏光分離素子35, 35'および $\lambda/2$ 板34, 34'は、それぞれ、入力側に設けた偏光分離素子31および $\lambda/2$ 板32と同様のものを各出力光路の方向に合わせて対称的に配置することが可能である。

【0056】

上記のような構成の光スイッチ30では、入力光ファイバ10のフェルール11端面から出射された光線が、レンズ12でコリメートされて偏光分離素子31に入力され、常光oと異常光eに分離された後、さらに異常光eについては $\lambda/2$ 板32を透過し偏光方向が90度回転されて常光oの偏光方向に揃えられる。これにより、進行方向が平行で、かつ、偏光方向が一致した2つの光線o, eが可変偏光面回転子1に入力されるようになる。

【0057】

可変偏光面回転子1に入力された各光線o, eは、位相差可変素子2および $\lambda/4$ 板3を順に透過することにより、各々の偏光面が90度回転されるか、または回転なしでくさび形偏光分離素子33に送られる。くさび形偏光分離素子33では、光学軸の方向とそれに垂直な方向とで屈折率が異なるため、可変偏光面回転子1での偏光面の回転に応じて各光線o, eが屈折を受ける。具体的には、可変偏光面回転子1による偏光回転が0度の場合、各光線o, eはくさび形偏光分離素子33において常光となり（ここでは光線oo, eoで示す）、常光の屈折を受けて方向を変える。一方、可変偏光面回転子1による偏光回転が90度の場合、各光線o, eはくさび形偏光分離素子33において異常光となり（ここでは光線oe, eeで示す）、異常光の屈折を受けて方向を変える。このように、くさび形偏光分離素子33における常光oo, eoと異常光oe, eeの屈折率が

相違するため、可変偏光面回転子 1 による偏光回転量に応じて透過光の光路を選択することが可能になる。

【 0 0 5 8 】

くさび形偏光分離素子 3 3 を透過して一方の光路に出射された光線 $o o$, $e o$ は、 $\lambda/2$ 板 3 4 の設けられた偏光分離素子 3 5 に送られて、各々の偏光状態が入力時と同様の状態に復帰されて合成された後に、レンズ 1 3 を介してフェルール 1 5 の端面に集光され出力光ファイバ 1 4 に入射される。また、くさび形偏光分離素子 3 3 を透過して他方の光路に出射された光線 $o e$, $e e$ についても、上記と同様にして、 $\lambda/2$ 板 3 4'、偏光分離素子 3 5' およびレンズ 1 3' を介してフェルール 1 5' 端面から出力光ファイバ 1 4' に入射される。

【 0 0 5 9 】

このように本実施形態によれば、光路の切り替えを行う 1×2 光スイッチを透過型の可変偏光面回転子 1 を用いて構成することが可能になる。

次に、前述したような可変偏光面回転子を用いた光スイッチについて、小型化を図るようにした応用例を説明することにする。

図 1 9 および図 2 0 は、上記可変偏光面回転子を用いた光スイッチの応用例を示す構成図であって、図 1 9 は上面図、図 2 0 は側面図である。

【 0 0 6 0 】

各図において、光スイッチ 3 0' の構成が前述の図 1 8 に示した光スイッチ 3 0 の構成と異なる部分は、くさび形偏光分離素子 3 3 から出射される各光の光路上にくさび形偏光分離素子 3 3' を挿入し、各々の光路を伝搬する光が $\lambda/2$ 板 3 4 の設けられた 1 つの偏光分離素子 3 5 を介して各出力光ファイバ 1 4, 1 4' に導かれるようにした部分であり、それ以外の他の部分の構成は光スイッチ 3 0 の構成と同様である。

【 0 0 6 1 】

くさび形偏光分離素子 3 3' は、くさび形偏光分離素子 3 3 と同形状かつ同質の偏光分離素子であり、具体的には、例えばくさび形ルチル板等を使用することが可能である。このくさび形偏光分離素子 3 3' は、くさび形偏光分離素子 3 3 と偏光分離素子 3 5 の間に、くさび形偏光分離素子 3 3 で異なる方向に出力され

る各光の進行方向が略平行となるような光学的な位置関係で配置される。

【 0 0 6 2 】

このように一对のくさび形偏光分離素子 3 3, 3 3' を使用して光スイッチの光学系を構成することで、切り替えを行う各光路に対応させて個別に設けていた $\lambda/2$ 板および偏光分離素子を共通化することが可能になるため、光スイッチ全体の小型化を図ることができるようになる。

次に、本発明にかかる可変偏光面回転子を用いた光フィルタの実施形態について説明する。

【 0 0 6 3 】

図 2 1 は、本発明にかかる可変偏光面回転子を用いた光フィルタの構成を示す平面図である。

図 2 1 において、光フィルタ 4 0 は、入力光ファイバ 1 0 から出射される光のレベルが波長に対して変化するような場合に、透過率の波長に対する依存性（透過波長特性）を能動的に変化させることで、所要の波長特性を持つ透過光が得られるようにした光フィルタである。このような光フィルタの基本構成は、例えば上述した特開平 1 1 - 2 7 1 7 0 0 号公報等に記載されている。本光フィルタ 4 0 は、従来構成において用いられていた可変ファラデー回転子に代えて本発明による可変偏光面回転子を使用するようにして、小型化および低コスト化を図るようにしたことを特徴とするものである。

【 0 0 6 4 】

具体的に上記の光フィルタ 4 0 は、例えば、偏光波長特性変化素子 4 1 の前後に、上述した透過型の可変偏光面回転子 1, 1' をそれぞれ配置し、前述の図 1 8 に示した光スイッチの場合と同様にして、入力光ファイバ 1 0 からレンズ 1 2 を介して偏光分離素子 3 1 に入力されて常光 o および異常光 e に分離され $\lambda/2$ 板 3 2 によって偏光方向の揃えられた各光線が、入力側の可変偏光面回転子 1 に入力され、また、偏光波長特性変化素子 4 1 および出力側の可変偏光面回転子 1' を透過した各光線が、 $\lambda/2$ 板 3 4 および偏光分離素子 3 5 に入力されて合成されレンズ 1 3 を介して出力光ファイバ 1 4 に入射される構成としたものである。

【 0 0 6 5 】

偏光波長特性変化素子 4 1 は、水平偏光である P 偏光と、垂直偏光である S 偏光との透過率（または反射率）の変化が異なる波長特性を持つ光学エレメントである。図 2 1 ではガラス基板 4 1 A に偏光波長特性変化素子 4 1 が蒸着されている。この偏光波長特性変化素子 4 1 の具体例としては、誘電体からなる高屈折率および低屈折率の薄膜を交互多層に重ね合わせた誘電体多層膜などを使用することが可能である。

【 0 0 6 6 】

上記の偏光波長特性変化素子 4 1 の入力側に配置される可変偏光面回転子 1 は、偏光波長特性変化素子 4 1 に入射する光線の偏光面を回転制御して、P 偏光と S 偏光の比率（透過比率）を変化させ、本光フィルタ 4 0 の波長特性を可変に制御するためのものである。

偏光波長特性変化素子 4 1 の出力側に配置される可変偏光面回転子 1' は、偏光波長特性変化素子 4 1 を透過した各光の偏光面を逆回転制御して、各光の偏光状態を入力側の可変偏光面回転子 1 を透過する前と同じ状態に復帰させるためのものである。

【 0 0 6 7 】

なお、ここでは各可変偏光面回転子 1, 1' における偏光面の回転角度が、共通の位相差調整部 4 から出力される信号に従って調整されるようにしているが、可変偏光面回転子 1, 1' ごとに位相差調整部を設けるようにすることも可能である。

上記のような構成の光フィルタでは、入力光ファイバ 1 0 のフェルール 1 1 端面から出射された光線が、レンズ 1 2 でコリメートされて偏光分離素子 3 1 に入力され、常光 o と異常光 e に分離された後、さらに異常光 e については $\lambda/2$ 板 3 2 を透過し偏光方向が 9 0 度回転されて常光 o の偏光方向に揃えられ、これにより、進行方向が平行で、かつ、偏光方向が一致した 2 つの光線 o, e が可変偏光面回転子 1 に入力される。

【 0 0 6 8 】

可変偏光面回転子 1 では、偏光波長特性変化素子 4 1 において所望の透過波長

特性が得られるように、入力光線の偏光面が回転されて偏光波長特性変化素子 4 1 に入力される P 偏光と S 偏光の比率が制御される。これにより、可変偏光面回転子 1 での偏光面の回転量に応じて偏光波長特性変化素子 4 1 の透過波長特性が変化するようになる。

【 0 0 6 9 】

偏光波長特性変化素子 4 1 を所望の透過波長特性に従って透過した各光線 o, e は、可変偏光面回転子 1' において、入力側の可変偏光面回転子 1 で回転させられた偏光面を元の偏光面に復帰する方向に逆回転させられる。そして、出力側の可変偏光面回転子 1' を透過した各光線 o, e は、 $\lambda/2$ 板 3 4 の設けられた偏光分離素子 3 5 に送られて、各々の偏光状態が入力時と同様の状態に復帰されて合成された後に、レンズ 1 3 を介してフェルール 1 5 の端面に集光され出力光ファイバ 1 4 に入射される。

【 0 0 7 0 】

このように本実施形態によれば、透過波長特性を能動的に変化させることのできる光フィルタを、本発明による透過型の可変偏光面回転子 1 を用いて構成することが可能になる。このような光フィルタは、透過波長特性が偏光波長特性変化素子 4 1 に入力される直線偏光の偏光面の角度に応じて制御されることになるため、直線偏光の偏光面を任意の角度に回転制御できる本発明による可変偏光面回転子は好適であり、従来の可変ファラデー回転子を使用した場合に比べて、光フィルタの小型化および低コスト化を図ることが可能になる。

【 0 0 7 1 】

なお、上述した光フィルタ 4 0 では、入力側の可変偏光面回転子 1 で偏光面が回転制御された各偏光が偏光波長特性変化素子 4 1 を透過して出力側の可変偏光面回転子 1' に送られる透過型の構成としたが、本発明はこれに限らず、偏光波長特性変化素子 4 1 で反射された各偏光が出力側の可変偏光面回転子 1' に送られる反射型の構成とすることも可能である。この場合、入力側の可変偏光面回転子 1 での偏光面の回転角度に応じて偏光波長特性変化素子 4 1 における反射率の波長依存性が変化し、フィルタ特性が能動的に制御されることになる。

【 0 0 7 2 】

なお、上述した各実施形態の説明では、本発明の可変偏光面回転子を可変光減衰器、光スイッチまたは光フィルタに適用するようにしたが、本発明にかかる可変偏光面回転子の適用範囲はこれに限定されるものではなく、直線偏光の偏光面の回転制御が必要な公知の各種光デバイスについて適用することが可能である。

以上、本明細書で開示した主な発明について以下にまとめる。

【 0 0 7 3 】

(付記 1) 直線偏光の偏光面を回転する可変偏光面回転子であって、

入力光線の偏光方向に対して同一の方向または 90 度傾いた方向の光学軸を有し、透過する光線に対して、前記光学軸に平行な偏光成分と前記光学軸に垂直な偏光成分との間に 90 度の位相差を与える位相板と、

前記位相板の光学軸に対して ±45 度傾いた光学軸を有し、透過する光線に対して、前記光学軸に平行な偏光成分と前記光学軸に垂直な偏光成分との間に可変の位相差を与える位相差可変素子と、

前記位相差可変素子の可変の位相差を調整する位相差調整部と、を備え、

前記入力光線が前記位相差可変素子を透過して楕円偏光または円偏光にされた後に前記位相板を透過して直線偏光にされることによって、前記入力光線の偏光面が前記位相差可変素子で与えられる位相差に応じた角度で回転されることを特徴とする可変偏光面回転子。

【 0 0 7 4 】

(付記 2) 付記 1 に記載の可変偏光面回転子であって、

入力光路から出射される前記入力光線が、前記位相差可変素子および前記位相板を順に透過して出力光路に入射される透過型の構成としたことを特徴とする可変偏光面回転子。

【 0 0 7 5 】

(付記 3) 付記 1 に記載の可変偏光面回転子であって、

光を反射する反射板を備え、

入力光路から出射される前記入力光線が、前記位相板および前記位相差可変素子を順に透過し、前記反射板で反射され、前記位相差可変素子および前記位相板を順に再度透過して出力光路に入射される反射型の構成としたことを特徴とする

可変偏光面回転子。

【0076】

(付記4) 付記1に記載の可変偏光面回転子であって、
前記位相差可変素子が、液晶素子を用いて形成されたものであることを特徴とする可変偏光面回転子。

【0077】

(付記5) 付記1に記載の可変偏光面回転子であって、
前記位相差可変素子が、電気光学効果を有する材料を用いて形成されたものであることを特徴とする可変偏光面回転子。

【0078】

(付記6) 付記1に記載の可変偏光面回転子であって、
前記位相板が、複屈折結晶より形成される $1/4$ 波長板であることを特徴とする可変偏光面回転子。

【0079】

(付記7) 付記1に記載の可変偏光面回転子であって、
前記位相板に代えて、
前記入力光線の偏光方向に対して同一の方向または90度傾いた方向の光学軸を有し、透過する光線に対して、前記光学軸に平行な偏光成分と前記光学軸に垂直な偏光成分との間に可変の位相差を与える第2位相差可変素子と、
該第2位相差可変素子の可変の位相差が前記入力光線の波長に応じて90度となるように調整する第2位相差調整部と、を設けたことを特徴とする可変偏光面回転子。

【0080】

(付記8) 付記7に記載の可変偏光面回転子であって、
前記第2位相差可変素子が、液晶素子を用いて形成されたものであることを特徴とする可変偏光面回転子。

【0081】

(付記9) 付記7に記載の可変偏光面回転子であって、
前記第2位相差可変素子が、電気光学効果を有する結晶を用いて形成されたも

のであることを特徴とする可変偏光面回転子。

【0082】

(付記10) 付記1に記載の可変偏光面回転子を用いた可変光減衰器であって、

入力光路から出射される光を偏光分離して前記可変偏光面回転子に与える第1偏光分離素子と、

前記可変偏光面回転子から出力される光を偏光分離し、所定の偏光状態の光を出力光路に入射させる第2偏光分離素子と、を備え、

前記第1偏光分離素子で偏光分離された直線偏光に対する前記可変偏光面回転子での偏光面の回転角を調整することによって、前記出力光路への入射光の光量を可変にしたことを特徴とする可変光減衰器。

【0083】

(付記11) 付記10に記載の可変光減衰器であって、

前記入力光路の光出射端面と前記出力光路の光入射端面とが対向し、

前記光出射端面および前記光入射端面の間に、前記第1偏光分離素子と、付記2に記載した透過型の可変偏光面回転子と、前記第2偏光分離素子とが順に配置されたことを特徴とする可変光減衰器。

【0084】

(付記12) 付記11に記載の可変光減衰器であって、

前記入力光路の光出射端面と前記出力光路の光入射端面とが同じ側に位置し、

前記光出射端面および前記光入射端面に対向させて、前記第1偏光分離素子と、付記3に記載した反射型の可変偏光面回転子とが順に配置され、

前記第1偏光分離素子を透過した光が前記可変偏光面回転子内で反射されて前記第1偏光分離素子に戻され、該第1偏光分離素子が前記第2偏光分離素子としても機能することを特徴とする可変光減衰器。

【0085】

(付記13) 付記1に記載の可変偏光面回転子を用いた光スイッチであって、

入力光路から出射される光を偏光分離する第1偏光分離部と、

該第 1 偏光分離部で偏光分離された複数の直線偏光を各々の偏光面を一致させて前記可変偏光面回転子に与える偏光面一致制御部と、

前記可変偏光面回転子から出力される光を偏光分離し、進行方向が互いに異なる複数の光路のいずれかに出力する第 2 偏光分離部と、

該第 2 偏光分離部で各光路に出力された光の偏光状態を、前記第 1 偏光分離部で偏光分離される前と同じ偏光状態に復帰させる複数の偏光復帰部と、

該偏光復帰部で偏光状態が復帰された光を合成して、前記各光路に対応した出力光路に入射させる複数の偏光合成部と、を備え、

前記第 1 偏光分離部で偏光分離された直線偏光に対する前記可変偏光面回転子での偏光面の回転角を調整することによって、前記複数の出力光路の切り替えを行うことを特徴とする光スイッチ。

【 0 0 8 6 】

(付記 1 4) 付記 1 3 に記載の光スイッチであって、

前記第 2 偏光分離部が、くさび形状の偏光分離素子であることを特徴とする光スイッチ。

【 0 0 8 7 】

(付記 1 5) 付記 1 4 に記載の光スイッチであって、

前記第 2 偏光分離部と同形状かつ同質のくさび形状の偏光分離素子からなる第 3 偏光分離部を備え、

前記第 2 偏光分離部で各光路に出力された光の進行方向が前記第 3 偏光分離部を透過することで略平行にされ、該略平行にされた各々の光が、1つの前記偏光復帰部および1つの前記偏光合成部を介して、前記各光路に対応した出力光路に入射されることを特徴とする光スイッチ。

【 0 0 8 8 】

(付記 1 6) 付記 1 に記載の可変偏光面回転子を用いた光フィルタであって

入力光路から出射される光を偏光分離して前記可変偏光面回転子に与える偏光分離素子と、

前記可変偏光面回転子から出力される直線偏光が入力され、該直線偏光の進行

方向に対して垂直な平面内で直交する 2 つの偏光成分についての透過率または反射率の波長変化が異なる特性を持つ偏光波長特性変化素子と、を備え、

前記偏光分離素子で偏光分離された直線偏光に対する前記可変偏光面回転子での偏光面の回転角を調整して、前記偏光波長特性変化素子に入力される直線偏光についての前記直交する 2 つの偏光成分の比率を変化させることによって、前記偏光波長特性変化素子の透過光または反射光の波長特性を可変にしたことを特徴とする光フィルタ。

【0089】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明の可変偏光面回転子によれば、位相差可変素子と位相板の簡単な組み合わせによって、直線偏光の偏光面を位相差可変素子で与える位相差に応じた角度で回転させることができるため、従来のファラデー回転子等に比べて小型化および低コスト化を図ることが可能であると共に、回転角の制御も容易に行うことが可能である。このような本発明の可変偏光面回転子を用いて可変光減衰器や光スイッチ、光フィルタ等の各種光デバイスを構成することにより、小型で安価な光デバイスを実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明にかかる可変偏光面回転子の第 1 実施形態を示す構成図である。

【図 2】 図 1 の可変偏光面回転子における位相差可変素子および $\lambda/4$ 板の各光学軸の関係を示す図である。

【図 3】 図 1 の可変偏光面回転子における各点での偏光状態を示す図である。

【図 4】 図 1 の可変偏光面回転子に用いられる位相差可変素子の動作を説明する模式図であって、(A) ~ (C) は液晶セルへの印加電圧に応じた偏光状態の変化の様子を示す図、(D) は液晶分子の回転状態を示す図である。

【図 5】 第 1 実施形態の可変偏光面回転子に関連して、任意の偏光状態の入力光に対応した応用例を示す構成図である。

【図 6】 本発明にかかる可変偏光面回転子の第 2 実施形態を示す構成図であ

る。

【図 7】図 6 の可変偏光面回転子における $\lambda/4$ 板および位相差可変素子の各光学軸の関係を示す図である。

【図 8】図 6 の可変偏光面回転子における各点での偏光状態を示す図である。

【図 9】本発明にかかる可変偏光面回転子に関し、 $\lambda/4$ 板に代えて位相差可変素子および位相差調整部を設けるようにした場合の構成図である。

【図 10】図 9 の可変偏光面回転子において、位相差可変素子にネマチック液晶を用いた場合の要部構成および偏光状態の変化を示す図である。

【図 11】図 9 の可変偏光面回転子において、位相差可変素子に電気光学結晶を用いた場合の要部構成および偏光状態の変化を示す図である。

【図 12】本発明にかかる可変偏光面回転子を用いた透過型の可変光減衰器の実施形態を示す構成図である。

【図 13】図 12 の可変光減衰器における各点での偏光状態を示す図である。

【図 14】本発明にかかる可変偏光面回転子を用いた反射型の可変光減衰器の実施形態を示す構成図である。

【図 15】図 14 の可変光減衰器における動作を説明する図であって、(A) は往路における光路を示し、(B) は復路における光路を示す図である。

【図 16】図 12 の可変光減衰器における各点での偏光状態を示す図である。

【図 17】図 12 の可変光減衰器について反射面付近の光路を拡大して示した図である。

【図 18】本発明にかかる可変偏光面回転子を用いた 1×2 光スイッチの実施形態を示す構成図である。

【図 19】本発明にかかる可変偏光面回転子を用いた 1×2 光スイッチの応用例の構成を示す上面図である。

【図 20】本発明にかかる可変偏光面回転子を用いた 1×2 光スイッチの応用例の構成を示す側面図である。

【図 2 1】本発明にかかる可変偏光面回転子を用いた光フィルタの構成を示す平面図である。

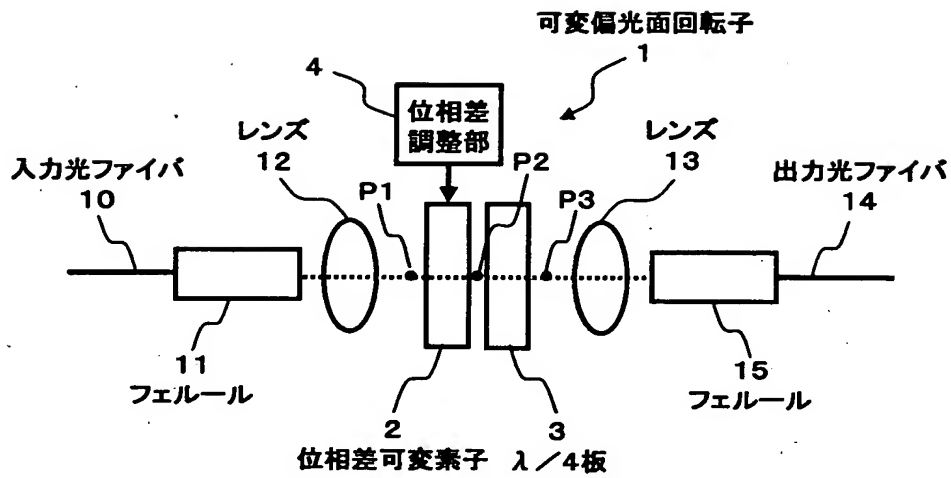
【図 2 2】従来の可変ファラデー回転子の構成例を示す図である。

【符号の説明】

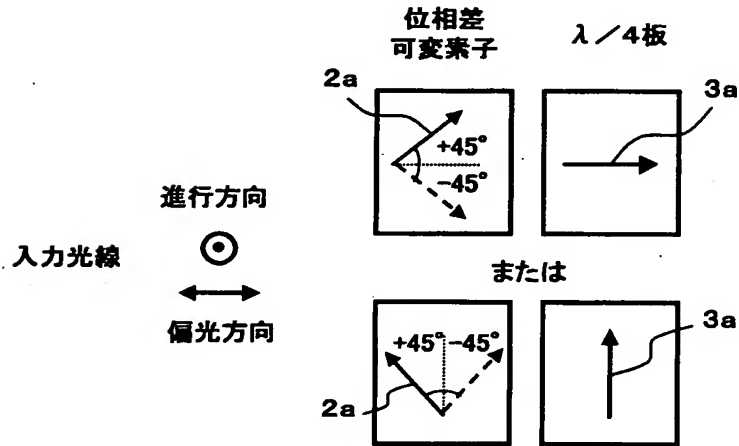
- 1, 1' 可変偏光面回転子
- 2, 2', 6 位相差可変素子
- 3, 3' $\lambda/4$ 板
- 2 a, 3 a 光学軸
- 2 A 液晶セル
- 2 B 透明電極
- 2 C 液晶分子
- 4, 7 位相差調整部
- 5 反射板
- 1 0 入力光ファイバ
- 1 1, 1 5, 1 5' フェルルール
- 1 2, 1 2', 1 3, 1 3' レンズ
- 1 4, 1 4' 出力光ファイバ
- 1 6, 2 1 偏光子
- 2 0, 2 0' 可変光減衰器
- 2 2 検光子
- 3 0, 3 0' 光スイッチ
- 3 1, 3 5, 3 5' 偏光分離素子
- 3 2, 3 4, 3 4' $\lambda/2$ 板
- 3 3, 3 3' くさび形偏光分離素子
- 4 0 光フィルタ
- 4 1 偏光波長特性変化素子

【書類名】 図面

【図 1】

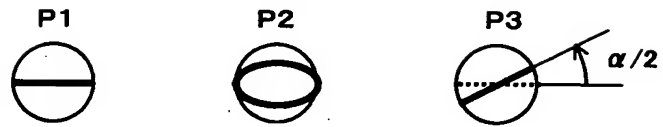


【図 2】

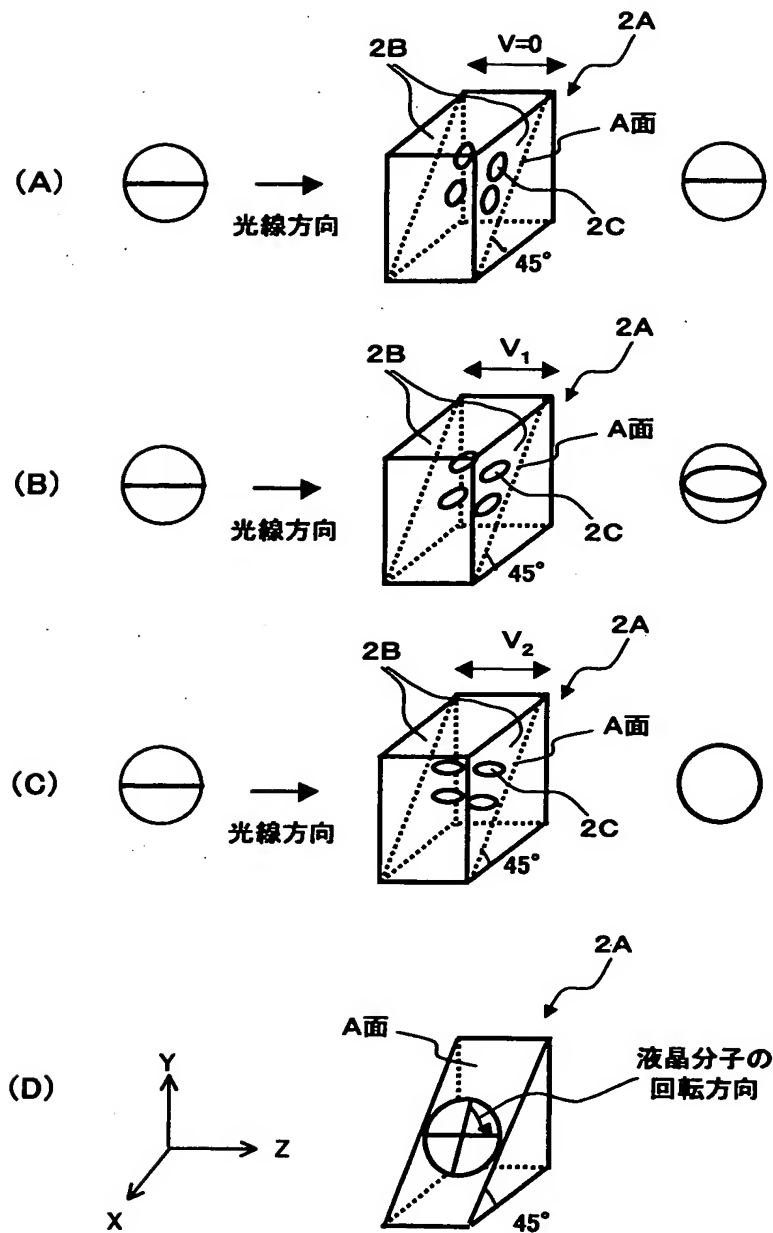


【図 3】

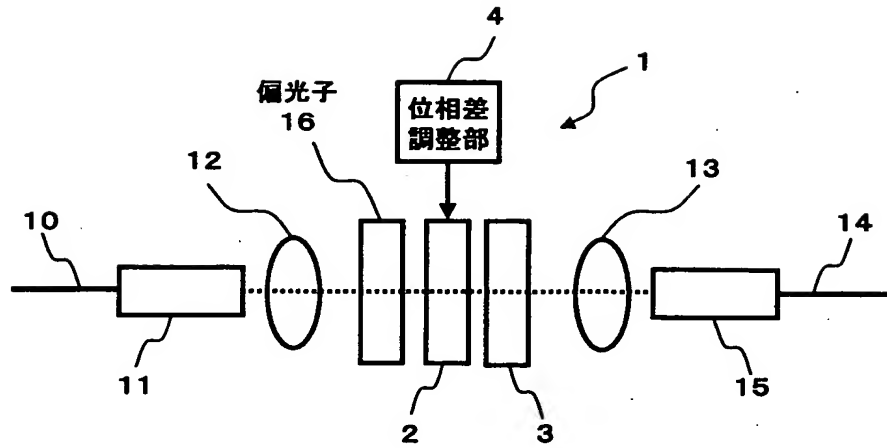
各点における偏光状態



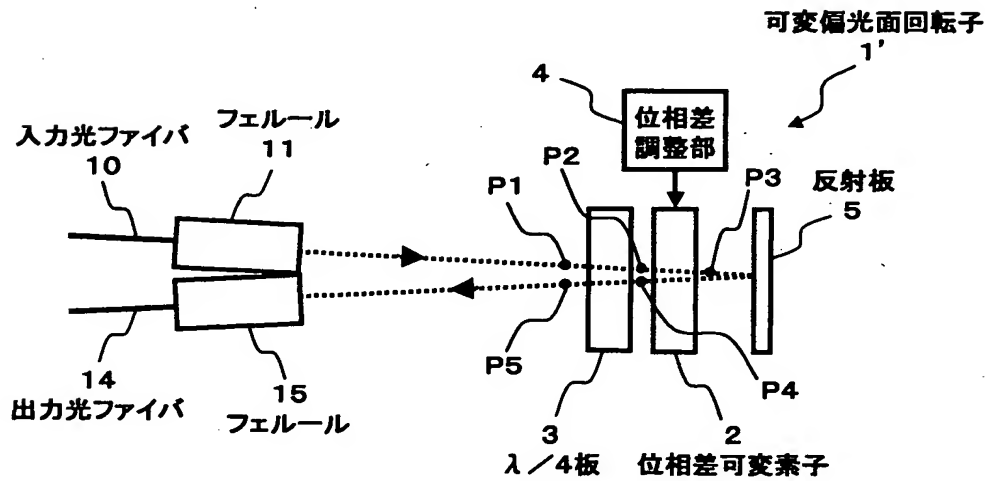
【図 4】



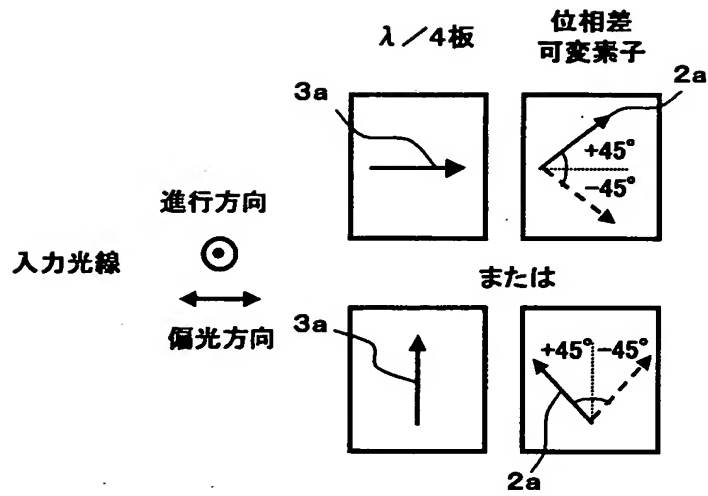
【図 5】



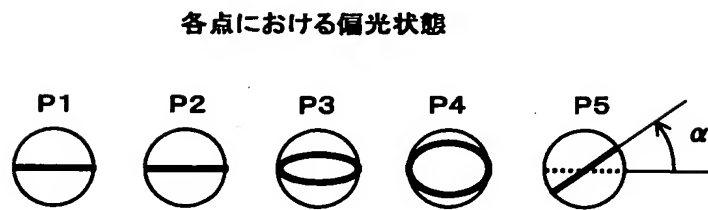
【図 6】



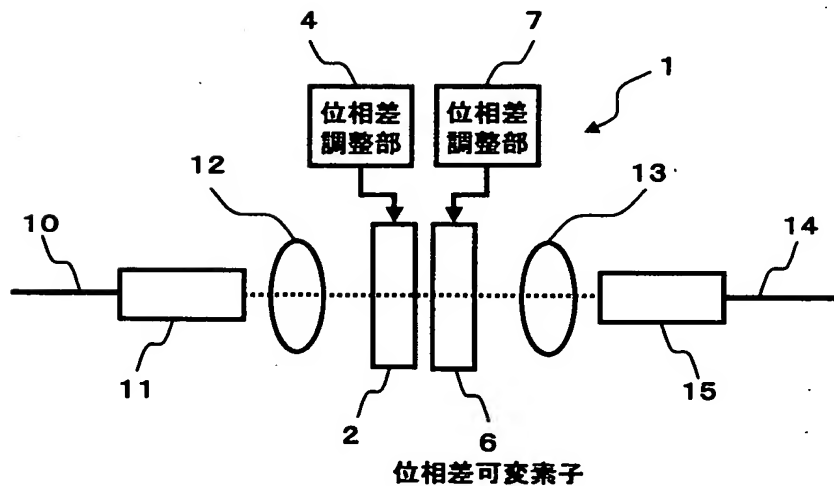
【図 7】



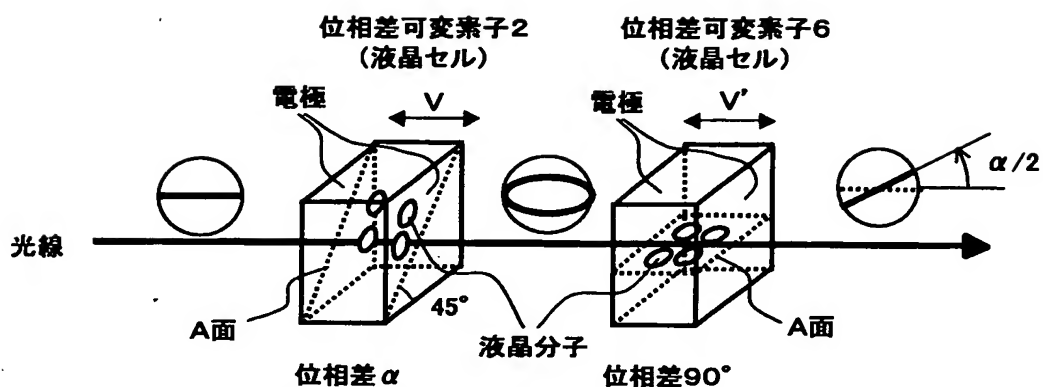
【図 8】



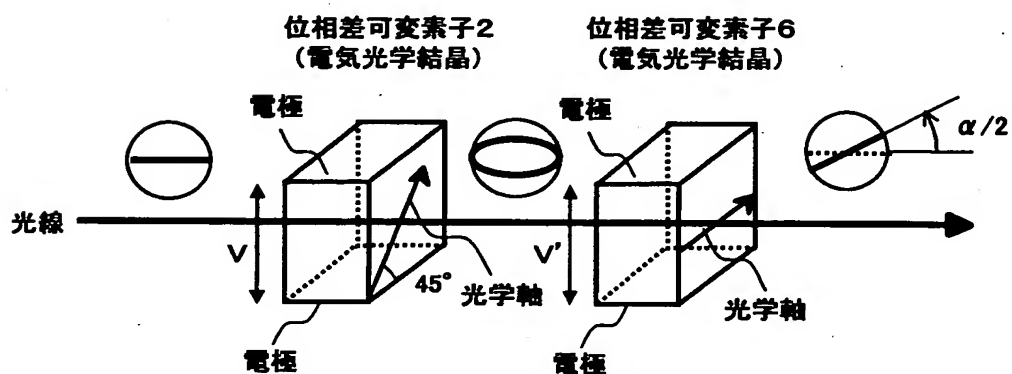
【図 9】



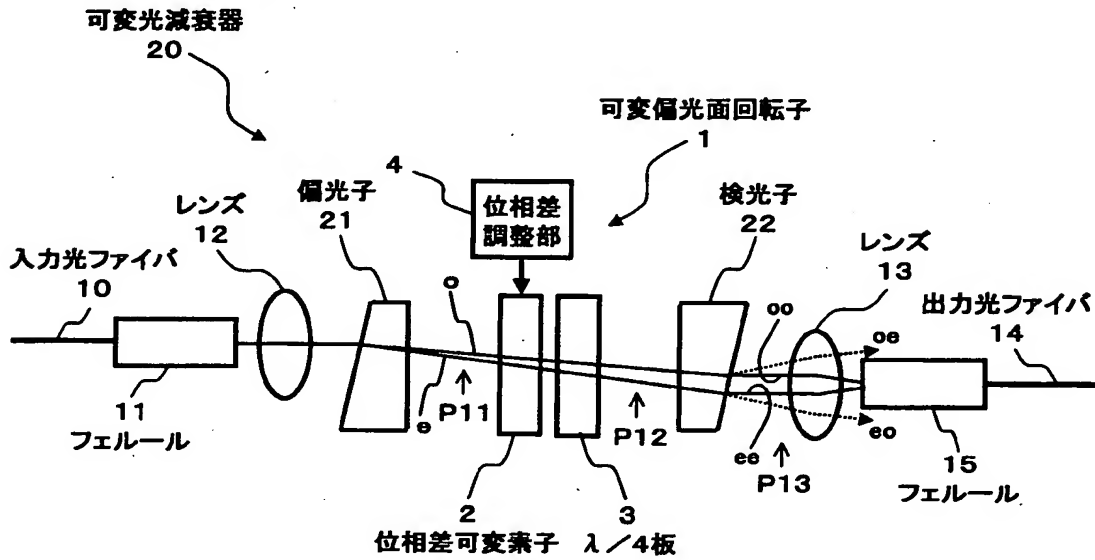
【図10】



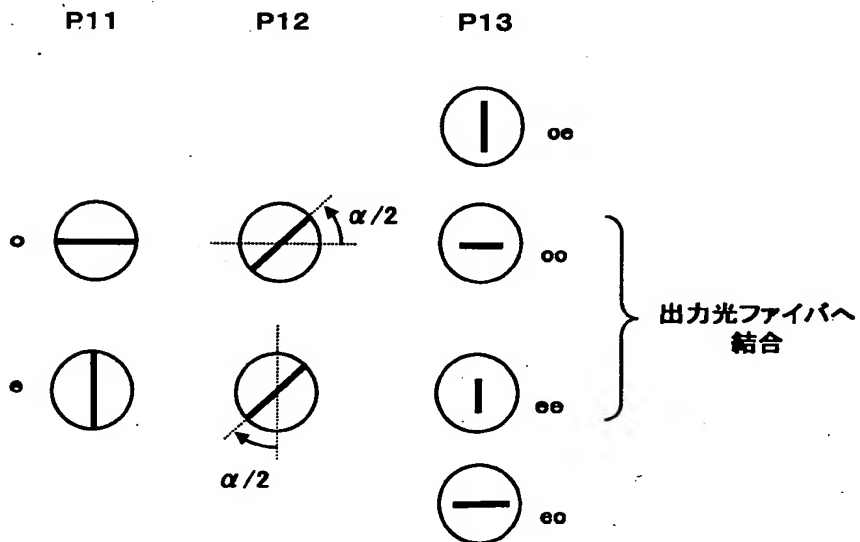
【図11】



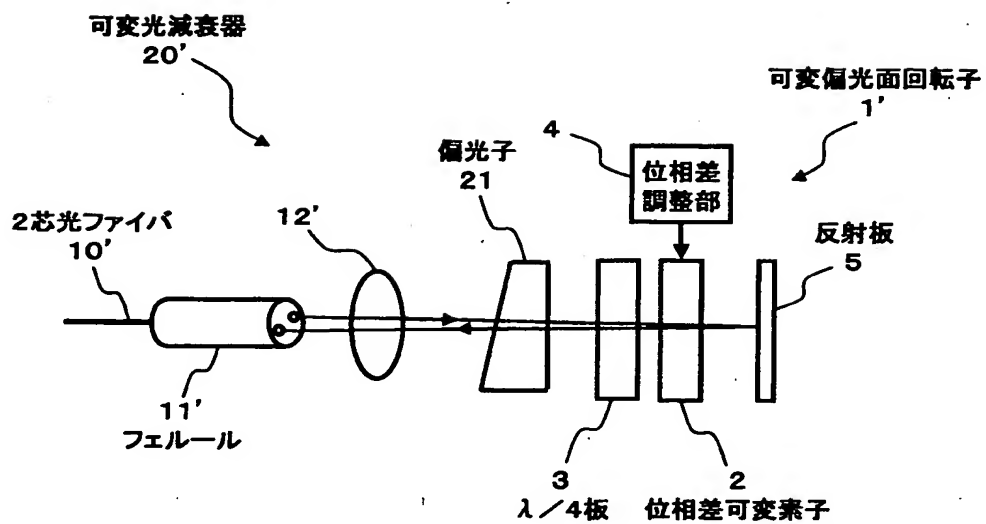
【図12】



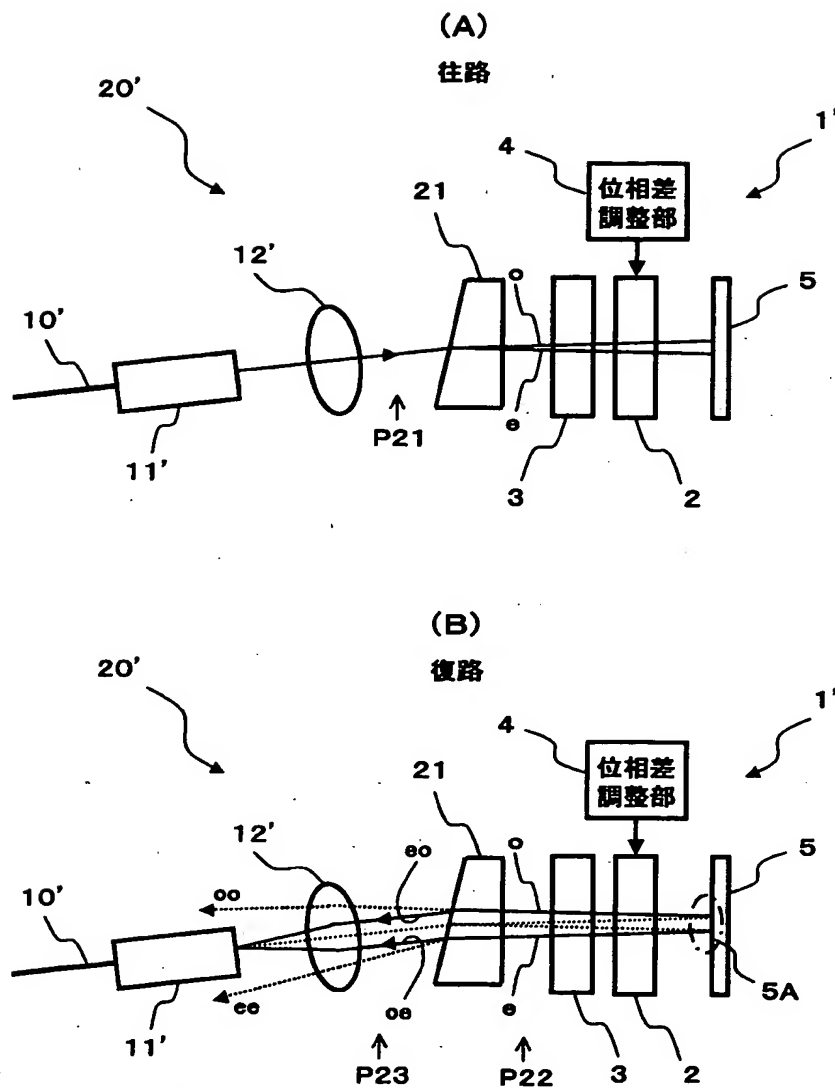
【図13】



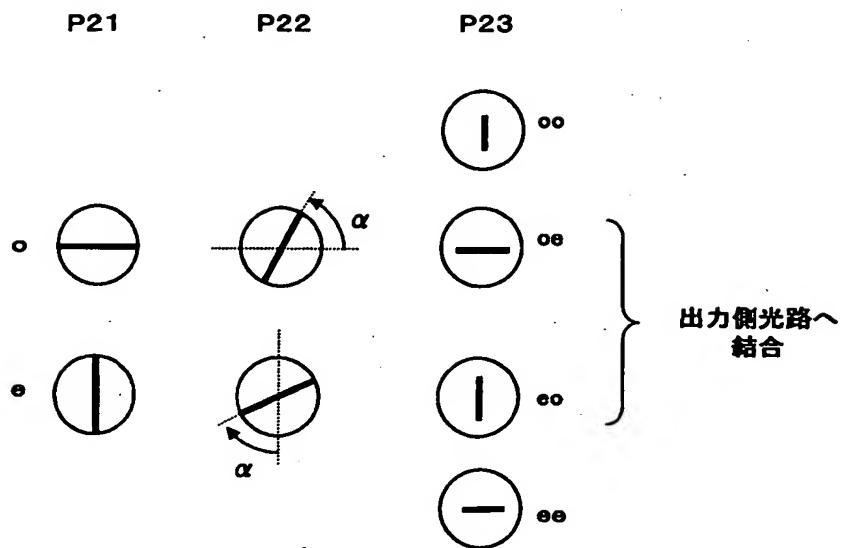
【図14】



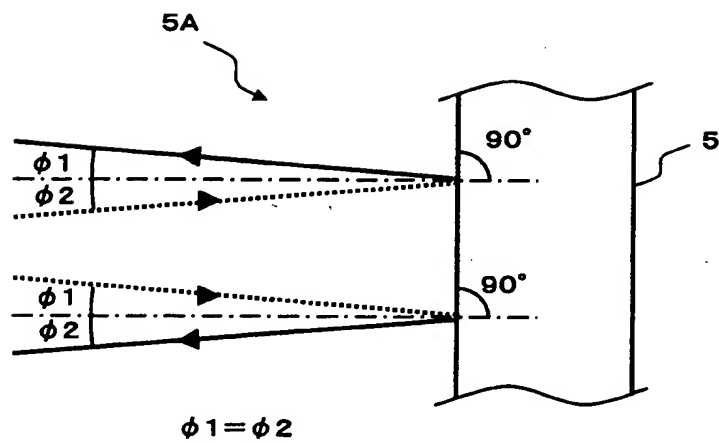
【図 15】



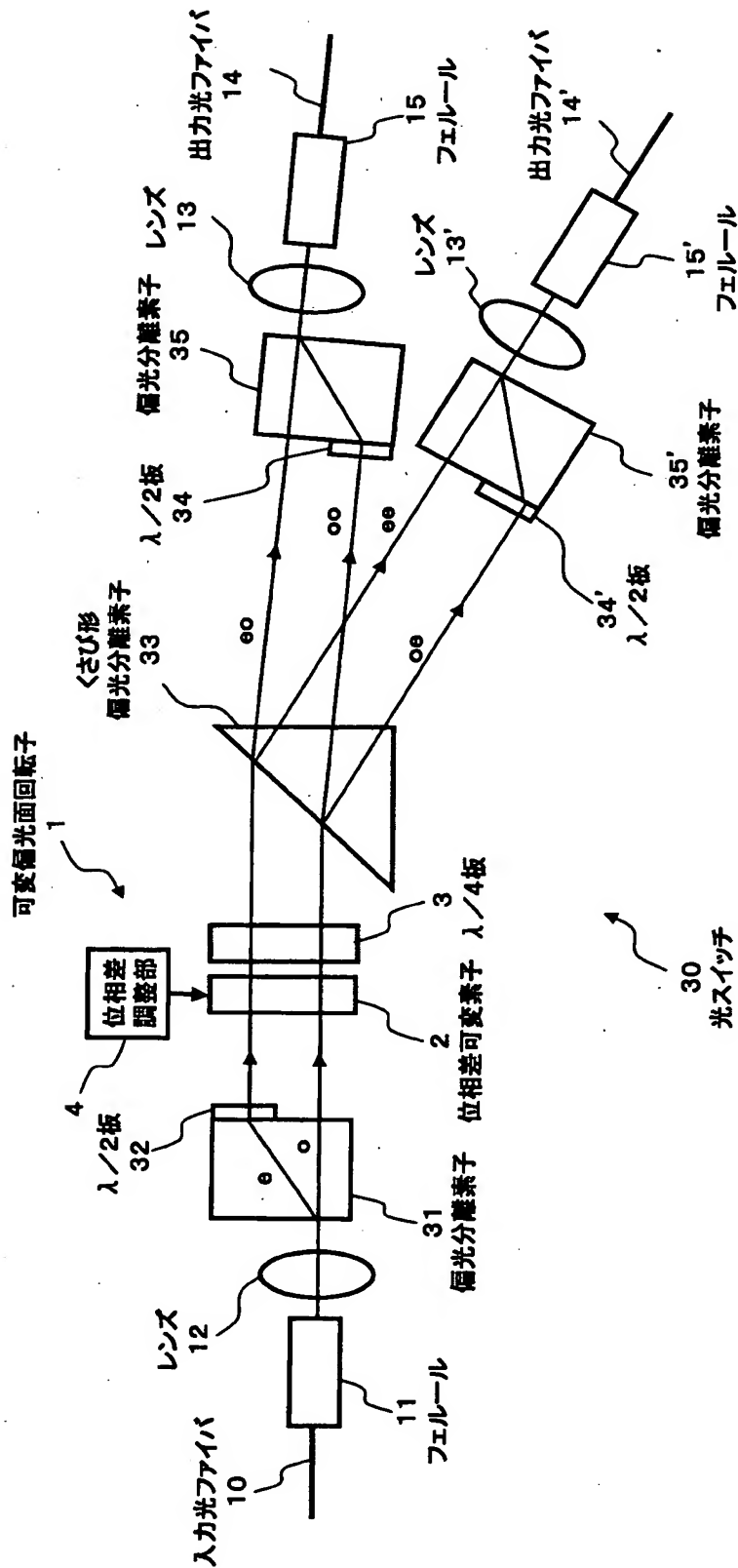
【図 16】



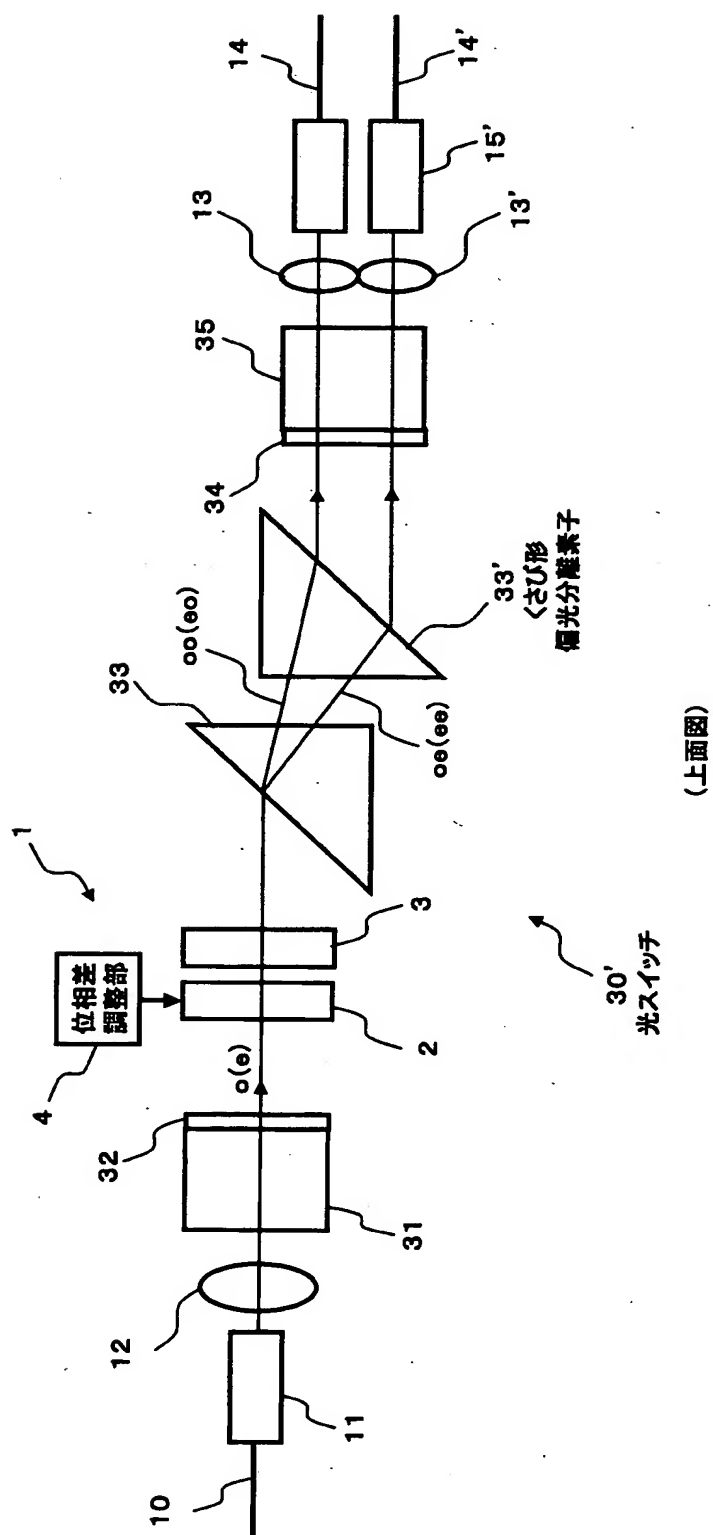
【図 17】



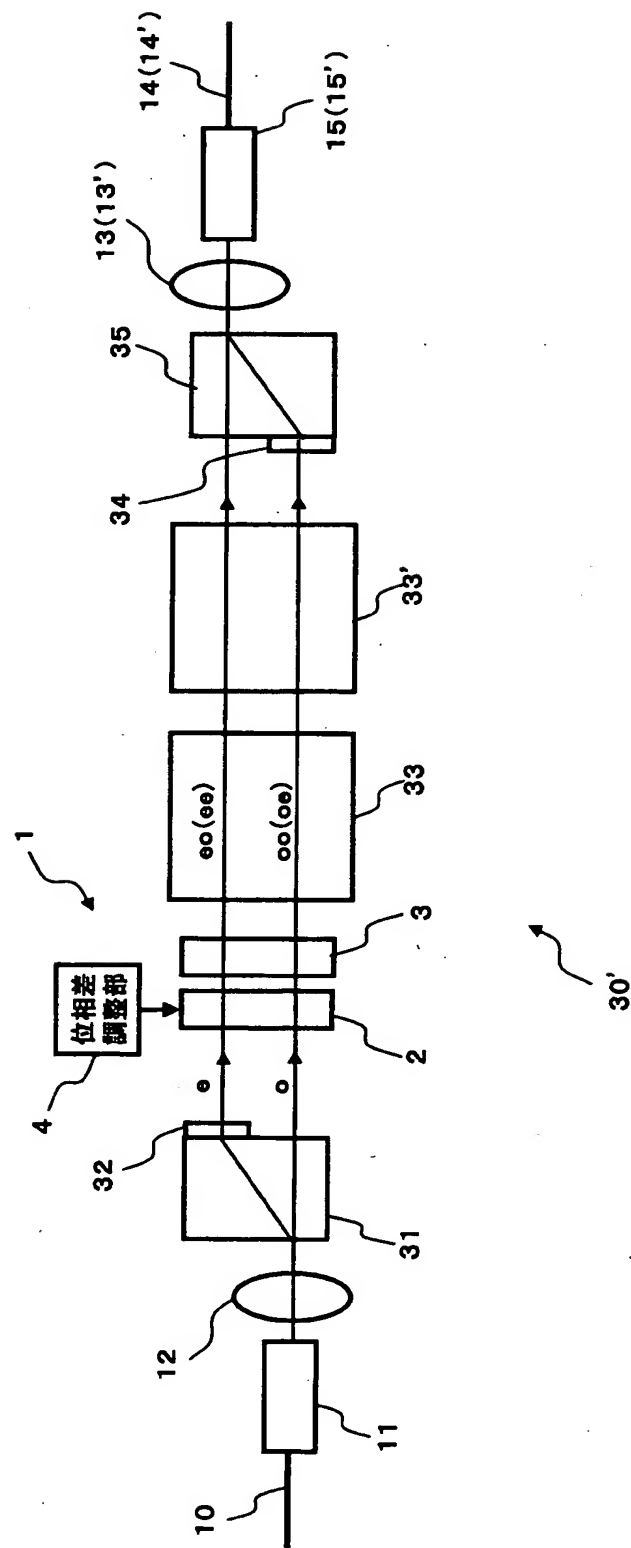
【図18】



【図19】

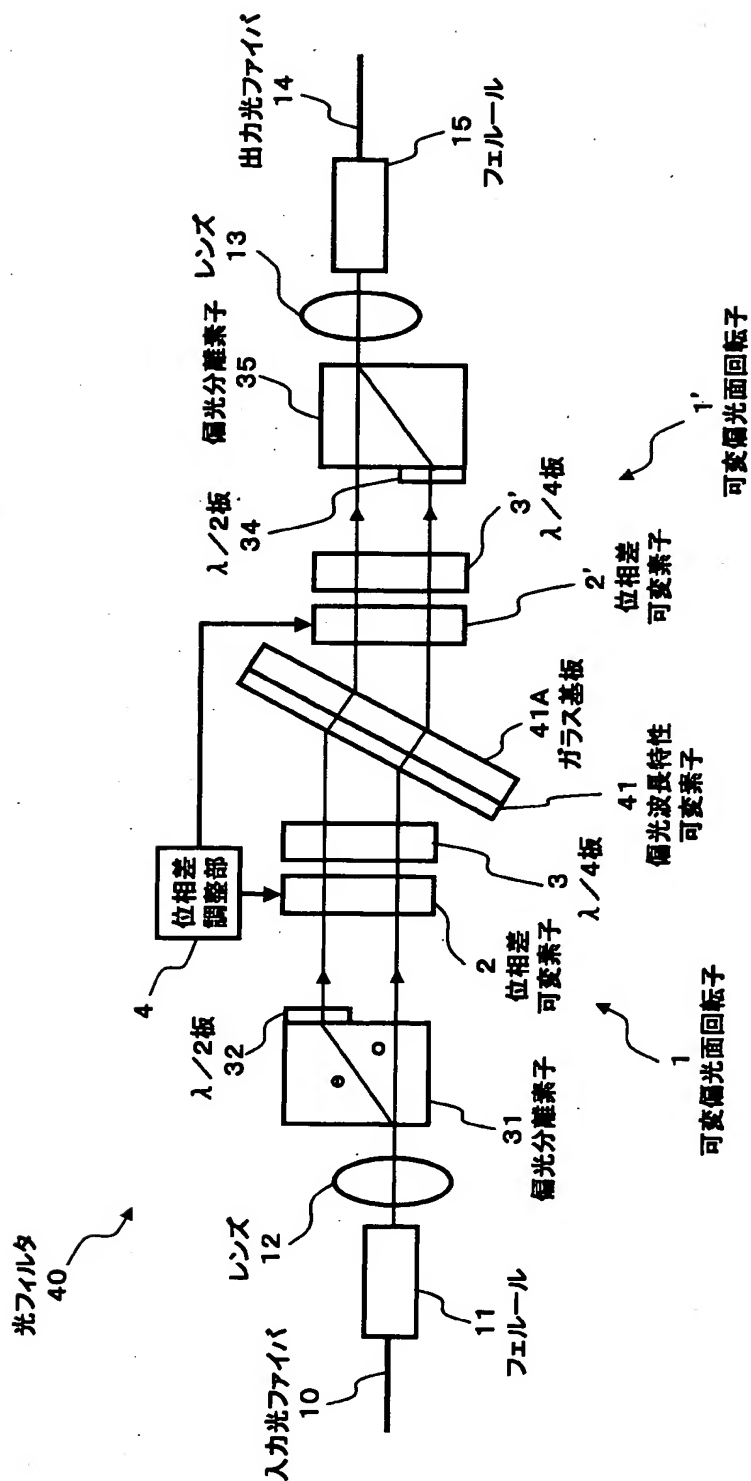


【図 20】

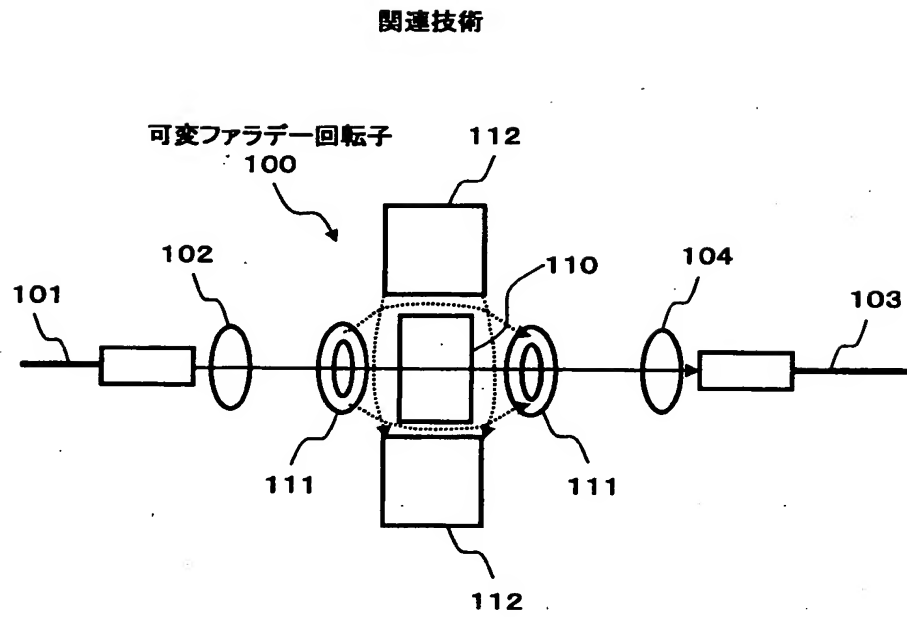


(側面図)

【図21】



【図 22】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 偏光面の回転角を容易に制御することができる小型で低コストの可変偏光面回転子およびそれを用いた光デバイスを提供する。

【解決手段】 本発明の可変偏光面回転子 1 は、入力光線の偏光方向に対して同一の方向または 90 度傾いた方向の光学軸を有し、その光学軸に平行な偏光成分と垂直な偏光成分との間に 90 度の位相差を与える $\lambda/4$ 板 3 と、 $\lambda/4$ 板 3 の光学軸に対して ± 45 度傾いた光学軸を有し、その光学軸に平行な偏光成分と垂直な偏光成分との間に可変の位相差を与える位相差可変素子 2 と、位相差可変素子 2 の可変の位相差を調整する位相差調整部 4 と、を備え、入力光線が位相差可変素子 2 を透過して楕円偏光または円偏光にされた後に $\lambda/4$ 板 3 を透過して直線偏光にされることによって、入力光線の偏光面が位相差可変素子 2 で与えられる位相差に応じた角度で回転されるものである。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000005223]

1. 変更年月日	1996年 3月26日
[変更理由]	住所変更
住 所	神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号
氏 名	富士通株式会社